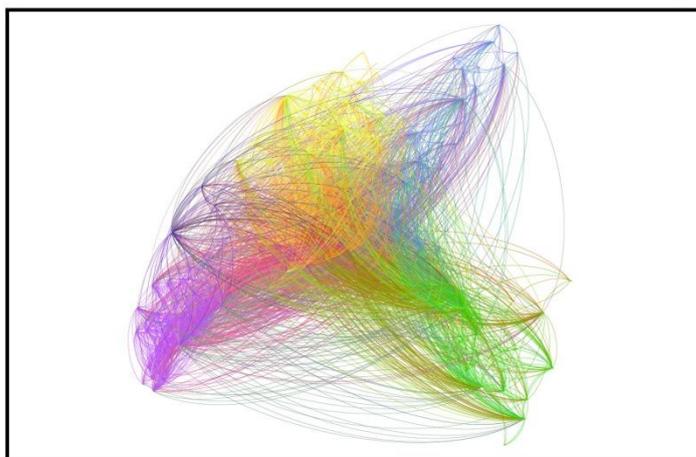


Les flux téléphoniques pour délimiter les villes
Une approche réseau dans la région urbaine de Lausanne

Vincent Klaus

Sous la direction de la Prof. Céline Rozenblat (UNIL)

Sous l'expertise de M. Viktor Goebel (OFS)



©Klaus UNIL 2013



Remerciements

Par ces quelques lignes, je souhaite remercier les personnes qui ont rendu possible la réalisation de ce travail de Mémoire. Un travail qui marque la fin d'un parcours étudiant de 5 ans au sein de la faculté des Géosciences et de l'Environnement de l'Université de Lausanne.

Mes remerciements vont tout d'abord à ma Professeure Céline Rozenblat qui m'a offert l'opportunité de travailler sur cette thématique originale et passionnante. Acquisition des données, conseils avisés et relectures minutieuses. Autant d'éléments qui m'ont permis d'aller de l'avant dans mes analyses et la rédaction du rapport.

Un grand merci également à M. Viktor Goebel, responsable du projet AggloSuisse pour l'office fédéral de la statistique, d'avoir accepté la fonction d'Expert pour ce Mémoire. Le fait de pouvoir faire sortir ce travail en dehors des murs de l'Université et de recevoir un écho attentif de la part d'une institution fédérale est particulièrement motivant.

Merci également à *Swisscom*, et en particulier à ses deux collaborateurs que sont M. David Watrin et M. Aresh Bhaumick, pour nous avoir mis à disposition les données téléphoniques de l'entreprise. Un élément central et indispensable à la réalisation de ce travail de Mémoire.

Pour les différents moments partagés dans le cadre du cursus en « Etudes Urbaines », mais aussi pour ses conseils appréciés sur certains aspects techniques, je remercie également Antoine et lui souhaite bonne route dans son futur parcours à l'Université de Lausanne.

Résumé court

Ce travail se propose d'explorer une méthode innovante pour délimiter les zones d'influence des villes à partir de données issues des communications de la téléphonie fixe. La méthode employée pour délimiter la région urbaine de Lausanne provient de la théorie des réseaux sociaux et se base sur des outils de l'analyse des graphes. Une large partie du travail se concentre par ailleurs à comparer les propriétés géographiques et statistiques des données téléphoniques avec les propriétés des données issues des migrations pendulaires, indicateur jusqu'à présent largement utilisé pour délimiter les zones d'influence des villes.

Résumé long

La ville contemporaine se caractérise par sa haute complexité, sa structure polycentrique et son étendue aux limites incertaines. Afin de mieux comprendre et analyser le phénomène urbain, de nouvelles conceptions de la ville se sont développées avec un intérêt marqué notamment autour des interactions sociales et économiques au sein des espaces urbains. La ville contemporaine est décrite comme un espace largement influencé, dans sa structure et ses dynamiques, par les réseaux et les flux qu'elle concentre. Des interactions à la fois matérielles, d'échanges de biens ou de rencontres, mais aussi immatérielles, de flux d'informations et de communications.

Produire des délimitations urbaines, indispensables à la gestion locale des territoires ou pour des analyses comparatives de villes au niveau national et international, est devenu par conséquent un exercice périlleux dans un contexte urbain aussi complexe. Ce travail propose ainsi d'explorer une méthode innovante pour délimiter les zones d'influence des villes à partir de données issues des communications de la téléphonie fixe. Ancrée fortement dans la théorie des réseaux sociaux, la méthode employée se base sur des outils d'analyse des graphes et permet de prendre en compte la totalité des interactions reliant les différentes polarités d'un territoire.

L'étude se concentre sur les interactions existant entre les communes du canton de Vaud et propose une délimitation de la région urbaine de Lausanne. Une large partie du travail se concentre par ailleurs à comparer les propriétés géographiques et statistiques des données téléphoniques avec les propriétés des données issues des migrations pendulaires, indicateur jusqu'à présent largement utilisé pour délimiter les zones d'influence des villes en Suisse et ailleurs en Europe.

Mots-clés

Ville contemporaine, délimitation urbaine, région urbaine, bassin fonctionnel, flux téléphoniques, flux pendulaires, réseaux sociaux, analyse de graphe, Lausanne.

Table des matières

I	Introduction	8
I-1	Enjeux de la délimitation des villes	9
I.1.1	Niveau local : gestion du territoire	9
I.1.2	Niveau national et international : analyse comparative.....	10
I-2	Concepts de la ville pour sa délimitation.....	11
I.2.1	L'évolution du cadre conceptuel : de la ville à l'urbain	11
I.2.2	Les localités urbaines.....	12
I.2.3	Les agglomérations urbaines.....	13
I.2.4	Les régions urbaines	14
I.2.5	Les régions urbaines polycentriques.....	15
I-3	Délimiter les espaces urbains : définitions et critères.....	18
I.3.1	Définitions nationales officielles.....	19
I.3.1.1	Définitions administratives.....	19
I.3.1.2	Définitions morphologiques	20
I.3.1.3	Définitions fonctionnelles.....	22
I.3.2	Vers une harmonisation internationale ? Le cas européen	24
I.3.3	Recherches innovantes sur les délimitations	25
I.3.3.1	Nouvelles données disponibles.....	25
I.3.3.2	Nouvelles approches.....	28
I-4	Les délimitations urbaines en Suisse.....	33
I.4.1	Définitions 2003	33
I.4.1.1	Les agglomérations	33
I.4.1.2	Les villes isolées	34
I.4.1.3	Les aires métropolitaines	34
I.4.1.4	L'utilisation des définitions en Suisse	34
I.4.2	Enjeux du renouvellement des définitions.....	35
I.4.2.1	Définitions actuelles : Forces et faiblesses.....	36
I.4.2.2	Projet AggloSuisse : Besoins et possibilités.....	36
I.4.2.3	Vers de nouvelles définitions ?	37
II	Pour de nouvelles délimitations des villes en Suisse	38
II-1	Construire de nouvelles délimitations des régions urbaines	38
II.1.1	Cadre théorique : les délimitations des régions urbaines	39
II.1.2	Cadre empirique : contexte de renouvellement des définitions suisses	39
II-2	Zone d'étude	40
II-3	Méthodologie réseau appliquée aux échanges téléphoniques.....	41
II.3.1	Evaluations et approches réseaux	41
II.3.2	Produire des délimitations urbaines à partir d'approches réseaux	41
II.3.3	Présentation des données.....	42
II.3.3.1	Données téléphoniques.....	42
II.3.3.2	Données pendulaires.....	48

III	Analyse exploratoire et comparative des données téléphoniques et pendulaires du canton de Vaud	50
III-1	L'espace géographique : distribution des interactions téléphoniques et pendulaires	51
III.1.1	Choix méthodologiques	51
III.1.1.1	Indicateur de téléphonie	51
III.1.1.2	Normalisation des distributions statistiques.....	51
III.1.2	Analyse comparative des flux téléphoniques et pendulaires	53
III.1.2.1	Symétrie des flux inter-communaux	53
III.1.2.2	Flux intra-communaux.....	57
III.1.2.3	L'effet de la distance sur les échanges	57
III.1.2.4	Synthèse de la comparaison	60
III.1.3	Rythme des flux téléphoniques	61
III.1.3.1	« Semaine » vs « Week-End »	61
III.1.3.2	« Semaine normale» vs « Vacances de Noël »	63
III-2	L'espace des flux : analyse sur les réseaux téléphoniques et pendulaires	66
III.2.1	Analyse préliminaire des réseaux téléphoniques et pendulaires.....	66
III.2.2	Sélection des densités majeures sur les deux réseaux	68
III.2.3	Comparaison de la partie « dense » du réseau téléphonique et de la partie « dense » du réseau pendulaire.....	69
III.2.3.1	Hiérarchie rang-taille des communes.....	69
III.2.3.2	« Communautés » de communes.....	71
III.2.4	Comparaison des parties « denses » des réseaux téléphoniques selon les périodes de communication.....	82
III.2.4.1	Bilan général des comparaisons entre les 5 réseaux	82
III.2.4.2	« Horaire de journée » VS « Horaire de soirée »	83
III.2.5	Synthèse des comparaisons réalisées sur les parties « denses » des réseaux	88
IV	Délimitation des espaces fonctionnels du canton du Vaud	90
IV.1	Les régions fonctionnels du canton de Vaud.....	90
IV.1.1	Les bassins de vie à partir des données téléphoniques	91
IV.1.2	Les bassins de mobilité à partir des données pendulaires.....	95
IV.2	La région urbaine de Lausanne	97
IV.2.1	Délimitation de la zone : les bassins de vie Lausanne-Morges.....	97
IV.2.2	Centralités multiples : une région urbaine polycentrique ?.....	99
IV.2.3	Comparaison avec la délimitation « OFS 2000 » basée sur les flux pendulaires	102
V	Synthèse générale	105
V-1	Spécificités de la délimitation urbaine réalisée	106
V.1.1	Les données téléphoniques : des interactions socio-économiques comparables aux données pendulaires	106
V.1.2	L'approche réseau : une approche globale des interactions.....	107
V-2	Perspectives pour le renouvellement des définitions suisses.....	108
V.2.1	Les données téléphoniques : une information complémentaire sur les relations fonctionnelles.....	108
V.2.2	L'approche réseau : pour une vision renouvelée des villes en Suisse	109
	Table des illustrations.....	110
	Références bibliographiques.....	113

I Introduction

« Il peut sembler paradoxal de s'attacher à délimiter des zones urbanisées, aux contours nécessairement précis, au moment où les limites entre monde urbain et monde rural deviennent de plus en plus floues. En fait c'est précisément cette interpénétration croissante qui impose de se donner des nouveaux moyens d'analyse des propriétés des différents milieux. » (Pumain et al., 1991, p.52)

La délimitation urbaine s'inscrit dans un concept fondateur de la discipline géographique : le concept d'*espace*, et plus précisément l'*espace géographique empirique* qui «*consiste à créer un espace géographique en retenant des caractères de la surface terrestre* » (Bailly et al., 2005, p.56). Les villes sont cependant des objets devenus trop complexes pour que des caractéristiques précises puissent rendre compte de la «*réalité* » du fait urbain. Car il n'existe pas une seule réalité, mais une multitude d'approches et de conceptions de la ville qui, à leur manière, influencent le regard porté par la société sur le phénomène urbain.

Au cours du XX^e siècle, la géographie, mais aussi la plupart des disciplines des sciences sociales, ont contribué à la création de nouvelles conceptions de la ville. Un certain intérêt s'est notamment développé autour des interactions sociales et économiques au sein des espaces urbains. La ville est décrite comme un espace largement influencé, dans sa structure et ses dynamiques, par les réseaux et les flux qu'elle concentre (Castells, 1972). L'espace urbain est un espace d'interactions à la fois matérielles, d'échanges de biens ou de rencontres, mais aussi immatérielles, de flux d'informations et de communications qui la traversent, lient ses composantes internes et les connectent avec l'extérieur (Lefebvre, 1974). La ville est perçue ainsi comme «*un système dans un système de villes* » (Berry, 1964), «*un gigantesque système destiné à permettre la maximisation de la fonction de communication et d'échanges sociaux* » (Claval, 1968).

Au sein de villes, les réseaux se caractérisent par leur forte densité, leur intensité et leur structure complexe et polycentrique : c'est cette complexité qui crée des processus de maximisation des interactions permettant un rayonnement au delà de la région voire du pays. Les espaces ruraux, en revanche, se distinguent par des interactions de nature souvent différente et par des densités plus faibles. Cette différence quantitative mais aussi qualitative de densité et de nature des réseaux d'interactions, permet de mettre en opposition l'ancienne dualité ville-campagne, mais au gré de leur évolution oblige à remettre sans cesse en jeu ces concepts afin que les délimitations urbaines répondent aux questions du moment.

I-1 Enjeux de la délimitation des villes

Délimiter les villes est fondamental dans le cadre de politiques locales, régionales ou nationales d'aménagement mais aussi en vue de comparaisons internationales à partir de grilles comparables des espaces urbanisés. La plupart des pays développés possèdent des définitions délimitant l'étendue des villes sur leur territoire. Il existe également, à l'échelle internationale et notamment en Europe, des définitions harmonisées permettant d'élargir le cadre d'analyse.

Ainsi, l'utilisation de ces définitions peut se faire à un niveau local, dans le cadre de la *gestion d'un territoire*, mais aussi à un niveau national ou international dans le but de réaliser des *analyses comparatives* (Pumain et al., 1991).

I.1.1 Niveau local : gestion du territoire

Le périmètre des villes constitue souvent un espace confronté à des défis urbanistiques et institutionnels majeurs. Les espaces de vies ont en effet évolué sous l'effet des innovations techniques dans les transports collectifs dès le XIX^e siècle, puis individuels au cours du XX^e, sans pour autant que les limites institutionnelles ne s'adaptent au phénomène urbain. En conséquence, le territoire institutionnel ne correspond pas toujours au territoire fonctionnel. Cela enfreint la mise en place de politiques de gestion agissant sur l'espace d'une seule et même entité urbaine, une même ville, s'étalant sur plusieurs communes. Cela limite également l'ensemble des actions relevant des politiques d'aménagement du territoire qui ne peuvent se baser sur une compréhension préalable des structures et des dynamiques territoriales des villes dans leur ensemble. Délimiter les villes permet dès lors souvent de mieux identifier les stratégies de planification, ainsi que d'englober dans le processus la totalité des collectivités concernées.

Emblématique des enjeux actuels des villes, la gestion des infrastructures de transport et leur financement ne peuvent faire l'objet d'une réflexion à l'échelle municipale lorsque la ville s'étend sur plusieurs communes (Bassand, 2004). Une grande part des emplois étant localisé au centre, les pendulaires provenant des communes périphériques participent eux aussi à l'utilisation des réseaux de transport du centre, sans pour autant assumer les coûts relatifs à la congestion du trafic (Jemelin, 2008). Il en va de même concernant les infrastructures culturelles et sportives, ou encore les richesses patrimoniales à entretenir, généralement localisées au centre mais qui profitent aussi à un bassin élargi de populations établies en périphérie (Pumain et al, 2006).

Pour ces raisons, les localités centrales des villes ne peuvent assumer à elles seules des investissements profitant également à la périphérie. La charge financière des centres est également accentuée par le fait qu'elles abritent parfois, comme en Suisse, une population plutôt défavorisée

en comparaison des communes périphériques (Da Cunha et Both, 2004). En conséquence, la répartition des rentrées fiscales et des investissements est très inégales entre les différentes collectivités, ce qui nécessite la mise en place d'un système de péréquation financière au sein du périmètre de la ville (Pumain et al., 2006). « *Comment alors concevoir et assurer une bonne gouvernance urbaine sans en connaître les limites géographiques ?* » (Dujardin et al., 2007, p.156).

En matière de politique publique, la délimitation des villes constitue donc un outil indispensable dans la prise de décisions à incidence territoriale et doit permettre une amélioration des collaborations entre les différents acteurs du territoire dans l'optique d'une bonne gouvernance.

I.1.2 Niveau national et international : analyse comparative

Délimiter les villes et établir des définitions harmonisées permet également aux gestionnaires des villes de comparer leur ville avec d'autres et de mieux comprendre les dynamiques spatiales, sociales et économiques en cours.

Des unités urbaines comparables permettent d'accomplir plusieurs objectifs au niveau national, notamment documenter le processus d'évolution des espaces urbains (ARE, 2009 ; Datar, 2011). La stabilité d'une définition dans le temps permet par exemple d'observer les extensions géographiques de l'urbanisation, de mesurer des variations démographiques ou économiques et de localiser ces variations au sein des anciens ou des nouveaux périmètres de l'espace sur lequel s'étend la ville

Ces études sont généralement mises en œuvre par des instituts ou des offices gouvernementaux. En Suisse par exemple, l'office du développement territorial (ARE) a lancé en 2001 un programme de *monitoring de l'espace urbain* poursuivant divers objectifs : mieux comprendre les mécanismes qui régissent les espaces urbains, comparer ces espaces entre eux, examiner les interdépendances locales, et analyser la place des villes suisses au sein du réseau de villes européennes sur la base des études réalisées par ESPON (European Spatial Planning Observation Network) (ARE, 2009).

Au niveau international, et notamment en Europe, il existe également des études poursuivant des objectifs similaires. Des analyses comparatives sont réalisées depuis plus de 20 ans (Brunet 1989 ; Rozenblat et Cicille, 2003 ; BBSR, 2011 ; Halbert et al., 2012) afin d'étudier l'évolution du réseau des villes européennes et mesurer l'intégration des villes au système. Les statistiques disponibles au niveau européen sont toutefois très rares et peu comparables, mais il demeure important de construire des systèmes d'indicateurs afin de mettre en évidence des spécialisations et le rayonnement international des villes. Il existe également quelques comparaisons à l'échelle mondiale dont celle de François Moriconi-Ebrard (1994) qui a pu mettre en place une énorme base de données (Géopolis) permettant la comparaison d'environ 26'000 agglomérations de plus de 10'000 habitants.

I-2 Concepts de la ville pour sa délimitation

Les concepts, qui doivent permettre de répondre aux défis posés par les enjeux, seront différents selon le cadre institutionnel dans lequel peut être utilisée la délimitation urbaine. En effet, les besoins concernant des politiques d'aménagement local diffèrent des besoins concernant des analyses scientifiques sur un espace national ou global.

Dans un tel contexte, les concepts développés au cours de la seconde moitié du XX^e siècle ont permis d'apporter des représentations contemporaines de la ville, et cela à différentes échelles, permettant ainsi de répondre aux enjeux contemporains des délimitations urbaines.

I.2.1 L'évolution du cadre conceptuel : de la ville à l'urbain

Avant l'avènement de la révolution industrielle en Europe, les limites des villes n'ont pas vraiment fait l'objet de discussions particulières. L'urbanisation était dans la plupart des cas confinée à une seule localité dans laquelle se trouvait la ville-centre, lieu de marché et de pouvoir, qui correspondait alors à une entité aux limites bien dessinées. Le développement industriel, au cours du XIX^e siècle, a par la suite poussé des populations rurales à s'établir en ville ; la croissance démographique des villes s'est emballée et les innovations techniques, principalement dans les transports, ont contribué à l'extension urbaine (Pumain et al., 1991).

La ville ne forme plus de nos jours une unité compacte et cohérente, se mêlant aux espaces ruraux à proximité. « *Dans bien des pays, et surtout depuis une quarantaine d'années, les processus successifs d'extension des zones urbanisées, de suburbanisation (zones urbaines de banlieues), de périurbanisation (zones rurales investies par des résidents travaillant en ville) ont considérablement emmêlé les frontières entre villes et campagnes* » (Pumain et al., 1991, p.9). Ce constat a pour effet de rendre désuet des conceptions traditionnelles de la ville, où elle est vue comme structurée autour d'un centre unique et définie par des relations centre-périphéries, radiales et asymétriques (Alonso, 1964). Dès lors, nombreux sont les géographes et les urbanistes qui ont développé de nouveaux concepts pouvant contribuer au renouvellement de ces représentations afin de coller davantage à la réalité de la ville contemporaine.

Les réflexions portent sur les formes et les structures de la ville contemporaine, mais également sur la terminologie des concepts. Françoise Choay s'interroge, par exemple, sur l'adéquation même du mot *ville* avec l'objet qu'il est supposé représenter, soit un objet issu de l'association entre *urbs*, une entité discrète comme territoire physique, et *civitas*, une communauté de citoyens qui l'habitent en y développant un certain mode de vie (Choay, 2006). L'auteur émet ainsi l'hypothèse de la disparition de la ville traditionnelle au profit de l'*urbain* : « *L'avènement de l'urbain défait l'ancienne solidarité*

d'urbs et civitas. L'interaction des individus est désormais à la fois démultipliée et délocalisée.» (Choay, 2006, p.191).

Ces réflexions sur l'urbain et la délocalisation de la ville traditionnelle trouvent en fait leurs origines déjà dans les années 1960. Webber (1964) affirme en effet que « *c'est l'interaction, non le lieu, qui est l'essence de la ville et de la vie en ville* » (dans Pumain et al., 2006), Castells (1972) met en avant l'importance croissante des réseaux pour les villes et la société en général, alors que Lefebvre, à travers sa thèse de l'urbanisation complète de la société, n'analyse plus la réalité en termes de ville et de campagne mais en termes de société urbaine (Lefebvre, 1974).

Les hiérarchies qui prévalaient entre le centre et sa périphérie ont été passablement modifiées, voir même inversées en raison de la facilité d'accès aux espaces périphériques. De nombreux concepts ont ainsi vu le jour afin de décrire ces nouveaux espaces: *edge city* (Garreau, 1991), *exopolis* (Soja, 1992), *zwischenstadt* (Sieverts, 1997). Les villes s'étalent et parfois même se confondent dans un espace décrit également comme une *nébuleuse urbaine*, un espace totalement urbanisé sans distinction entre ville et campagne (Corboz, 1992).

Ajouté à la multiplicité des notions gravitant autour de la ville contemporaine vient s'ajouter la difficulté d'en délimiter les contours, puis de les justifier dans un contexte où les espaces urbains et ruraux, de même que les modes de vie, s'interpénètrent largement. Malgré ces obstacles, il est nécessaire et utile de pouvoir disposer d'une indication globale sur la typologie des espaces. Pour ce faire, les notions les plus fréquemment utilisées sont les concepts d'*agglomération urbaine* et de *région urbaine* (Pumain et al., 1991). Ces deux notions, qui définissent deux visions contemporaines distinctes de la ville, font l'objet d'un large compromis au sein de la communauté scientifique et sont aujourd'hui très répandues dans les différentes méthodes visant à délimiter et comparer les villes. Ces deux approches contribuent également à redéfinir les périmètres d'action des politiques de la ville, qui se construisent au sein des *localités urbaines*.

1.2.2 Les localités urbaines

« Des localités sont déclarées urbaines par les autorités politiques ou administratives. [...] Elles sont définies par des limites administratives, ou par le statut juridique de ville » (Pumain et al., 2006).

Le fondement de la notion de *localité urbaine* est ancré dans l'histoire des villes, car leur étendue est longtemps restée confinée au sein d'un seul et unique territoire municipal. Dans l'histoire récente des villes, cette relation qui unissait ville et localité s'est peu à peu défaite en raison du manque de correspondance entre urbanisation et limites administratives. Quelques exceptions demeurent toutefois, notamment dans les Alpes suisses où de petites villes sans couronne alentour se limitent à leur propre territoire municipal (Bassand, 2004). En dehors de ces cas isolés, seule la mesure

consistant à fusionner la localité centrale avec des communes alentours, pratique utilisée notamment par l'Allemagne, peut aujourd'hui permettre de représenter une certaine réalité urbaine à travers le maillage administratif (Pumain et al., 2006).

Pour faire face à ces évolutions, les limites administratives des villes se sont récemment élargies dans certains pays à des groupements de communes urbaines afin de répondre à des enjeux d'aménagement locaux. En Suisse et en France par exemple, de par la politique fédérale des agglomérations (ARE, 2001) et les communautés d'agglomération (Etat français, 1999), des processus de gestion urbaine intercommunale se sont ainsi développés avec pour objectifs de faciliter la production de projets urbains et le développement des infrastructures de transports sur l'ensemble des communes concernées par une même urbanisation.

Ces entités administratives nouvelles, à mi-chemin entre les communes et les cantons en Suisse, ou les départements en France, se caractérisent pour l'instant par un déficit institutionnel important (Bassand, 2004).

I.2.3 Les agglomérations urbaines

« *Les agglomérations urbaines se réfèrent d'abord à des entités morphologiques définies le plus souvent d'après la continuité du bâti et la cohérence du tissu urbain* » (Pumain et al., 1991, p.10).

Dans le cas des villes européennes, continent sur lequel les villes se sont développées autour de noyaux historiques anciens, suivant un modèle d'urbanisation concentrique. La notion d'agglomération se réfère d'abord au noyau central compact et dense des villes. Celui-ci se caractérise par une structure bâtie relativement dense et entrecoupée par des rues aux tracés chaotiques héritées de l'époque médiévale (Benevolo, 1983). Au-delà de ce centre ancien, *l'agglomération urbaine* se compose généralement d'une couronne suburbaine compacte issue de la ville industrielle, ou de barres d'immeubles héritées de l'urbanisme fonctionnaliste des trente glorieuses (Mangin, 2004). Les limites de *l'agglomération urbaine* se dessinent autour de la couronne périurbaine constituée de cette urbanisation continue.

Au-delà de sa structure bâtie continue et relativement cohérente, *l'agglomération urbaine* constitue un cadre pertinent d'analyse du fait qu'elle regroupe une grande partie des résidents, des activités, des fonctions et des emplois urbains (Pumain et al., 2006). Ce constat s'est par ailleurs accentué au cours des dernières années de par une tendance à la reconcentration de certaines activités, ainsi que des classes économiquement et socialement supérieures, vers des quartiers centraux qu'elles avaient délaissés par le passé. Les agglomérations concentrent en effet de larges surfaces de friches industrielles, portuaires, ou militaires et dont la réaffectation s'accompagne souvent d'un processus de gentrification (Smith, 1996).

Pour ces différentes raisons, et notamment le fait de se concentrer avant tout sur les espaces construits du territoire, aisément identifiables, le concept d'*agglomération urbaine* est souvent utilisé dans le cadre des comparaisons de villes au niveau international (Bairoch et al, 1988 ; Moriconi-Ebrard, 1994 ; Guérois, 2003). L'Organisation des Nations Unies (ONU) recommande d'ailleurs, depuis plus de 30 ans, d'utiliser le concept d'*agglomération urbaine* pour les définitions nationales officielles (Rozenblat et Cicille, 2003). De plus, des travaux ont été développés récemment à partir d'images satellitaires (Guerois et al., 2011), des données qui offrent la possibilité de réaliser des études sur des temporalités étendues et avec l'avantage également de pouvoir travailler sur des espaces nationaux où les données statistiques manquent cruellement (Donnay et al., 2001).

I.2.4 Les régions urbaines

« Les régions urbaines sont dessinées pour rattacher à un centre urbain ou à une agglomération, toutes les zones même rurales dont les habitants dépendent, en particulier pour leur travail. Elles incorporent ainsi, autour des agglomérations, toutes les localités périurbaines à fonction résidentielle. Elles sont le plus souvent définies à partir d'une certaine proportion de leur population, totale ou active, qui se rend au centre pour exercer son activité. » (Pumain et al., 1991, p.10).

La *région urbaine* se réfère ainsi à la sphère d'influence exercée par une agglomération urbaine sur sa périphérie, à un espace fonctionnel *« défini par l'inscription spatiale de flux de tous ordres »* (Bailly et al. 2005, p.79). La mobilité quotidienne domicile-travail constitue en général, l'indicateur privilégié pour définir une *région urbaine* fonctionnelle. En effet, une part importante d'individus est, de nos jours, établie hors du centre mais dépend encore largement de celui-ci s'agissant de l'emploi ou d'autres fonctions urbaines spécialisées (services, commerces, hautes écoles, centres culturels etc.).

Considérer la *région urbaine*, c'est alors la possibilité d'intégrer la société dépendant directement du mode de vie urbain et des fonctions et processus de la ville, en dehors du cadre traditionnel de la ville physique dense et compacte. Une possibilité offerte par l'amélioration généralisée des accessibilités. La performance des réseaux de transport permet en effet une diffusion de l'urbain dans les territoires environnants, il est dès lors concevable qu'un individu urbain vive à la campagne grâce à un moyen de transport ou à des technologies de communication performantes. *« Le lieu de la ville, ce n'est plus seulement la ville, ce peut être la campagne ou quelque coin perdu dans la nature. »* (Chalas 1997, p.109).

De par son extension géographique et ses frontières imperceptibles sur le territoire, la *région urbaine* est une entité dont les contours restent difficiles à délimiter. Il demeure difficile et coûteux de produire des statistiques telles que les flux de pendulaires, ce qui explique que la *région urbaine* n'est

pas une définition étendue à un grand nombre de pays. Son utilisation est donc quasi-impossible dans le cadre de comparaisons internationales (Pumain et al., 1991).

Toutefois, dans le cas où les données accessibles permettent la mise en place de la définition, la *région urbaine* est un concept intéressant au-delà de la simple délimitation d'une entité urbaine. Le concept est par exemple utilisé dans une optique de régionalisation du territoire autour de ses centres urbains principaux (Pumain et al., 1991). Une telle partition, indépendante des limites administratives régionales en place, constitue un cadre géographique souvent plus pertinent pour des analyses relatives au marché de l'emploi ou au développement économique régionale. D'autre part, en intégrant les espaces périphériques à l'agglomération urbaine, le concept permet d'étudier les processus d'étalement des résidences et de déconcentration des activités. En effet, malgré la relocalisation de certaines activités dans les centres, une part importante d'installations industrielles et commerciales consommatrices d'espace privilégie encore les espaces périphériques à proximité des voies de communications. Une population urbaine non négligeable fait le choix de la périphérie pour des raisons économiques ou de qualité de vie.

En conséquence de cette déconcentration, on assiste dans certains cas à l'émergence de véritables pôles urbains secondaires. La *région urbaine*, à l'origine centrée sur un pôle historique unique, prend alors la forme d'une *région urbaine polycentrique*.

I.2.5 Les régions urbaines polycentriques

Le concept de *polycentrisme*, que l'on retrouve parfois également sous les termes de *multipolarité* (Guérois et Le Goix, 2000) ou de *polynucléation* (Lambooy, 1998), est un concept souvent mobilisé en géographie urbaine sans pour autant faire l'objet d'une définition clairement établie. La problématique principale concerne son utilisation à des échelles spatiales différentes. Tantôt mobilisé à niveau local ou régional (intra-urbain), ainsi qu'à un niveau national ou international (inter-urbain), le *polycentrisme* définit dans les deux cas un espace urbain structuré par plusieurs centralités (Champion, 2001).

L'émergence du concept de *polycentrisme* est plutôt liée à l'échelle inter-urbaine avec la *megapolis* de Gottman (1961), par laquelle l'auteur désigne un nouveau phénomène urbain de grande ampleur impliquant plusieurs villes, à l'origine séparée, mais devenue peu à peu interdépendante. La *mégapolis* fait référence avant tout à l'urbanisation de la côte nord-est américaine qui s'étend de Boston à Washington. Le concept a par la suite été appliqué à l'Europe pour désigner le réseau de villes allant de Londres à Milan (Juillard, 1968), ainsi qu'à une échelle plus fine pour décrire les *régions métropolitaines polynucléaires* du nord-ouest européen (Dieleman et Faludi, 1998).

Suite à cela, le concept de *polycentrisme* s'est également répandu à l'analyse intra-urbaine avec les *edge cities* américaines de Garreau (1991) qui désignent l'émergence de centralités urbaines secondaires. Celles-ci se caractérisent par de grandes surfaces de bureau, des centres commerciaux ou encore des complexes de cinéma situés à la périphérie du centre-ville sur des nœuds autoroutiers importants. La conjonction d'une bonne accessibilité et d'une augmentation importante des consommateurs établis en périphérie positionne dès lors les *edge cities* comme des concurrentes sérieuses au centre-ville traditionnel.

Les villes européennes ont, elles aussi, été affectées dans une certaine mesure par l'émergence de ces centralités secondaires, parmi lesquels des villes suisses dont Zurich, Genève ou Lausanne comme démontré par une étude de leur réseau pendulaire entre 1970 et 2000 (Dessemontet et al., 2010)(Fig I.1).

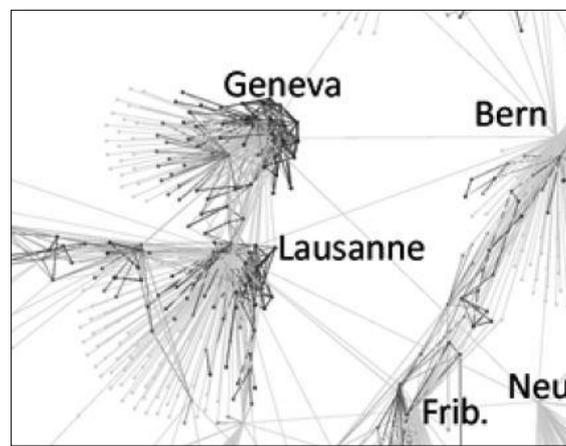
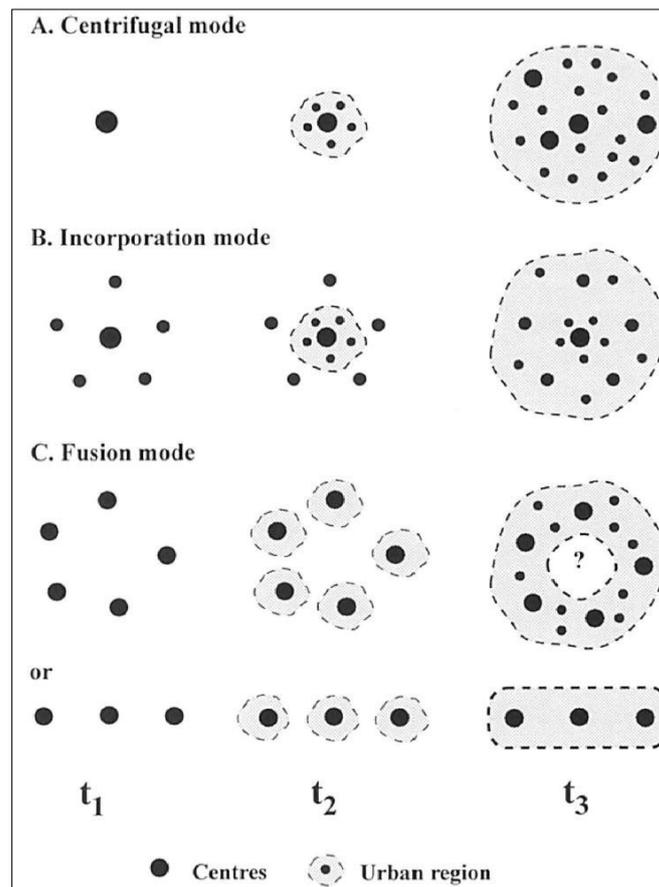


Figure I.1. Polycentrisme dans le réseau des pendulaires suisses en 2000.

Les cas de Genève et Lausanne (source : Dessemontet et al., 2010)

Une distinction avec le développement des villes américaines peut néanmoins se faire. En effet, alors que les *edge cities* américaines se développent souvent à partir de rien, les centralités secondaires en Europe sont plutôt issues de petites centralités à l'origine autonomes puis incorporées dans la sphère d'influence de l'agglomération principale (Anas et al., 1998). A. G. Champion (2001) distingue le *modèle centrifuge*, à l'américaine, du *modèle incorporé* à l'européenne (Fig. I.2). Le *modèle fusionnel*, un regroupement de centralités de tailles équivalentes, constitue également une alternative à l'émergence du polycentrisme.



Figurel.2. Alternatives au développement des régions urbaines polycentriques
(source : Champion, 2001)

Le polycentrisme à l'échelle locale est également un enjeu politique. En effet, la plupart des villes européennes pratiquent des politiques de développement visant à favoriser une décongestion de leur centralité principale au profit de centralités secondaires (Rozenblat, 2009). L'objectif de ces politiques est de favoriser les économies d'agglomération générées par l'environnement des villes tout en évitant les déséconomies engendrées par la saturation des différents réseaux urbains (Rozenblat, 2009).

Les politiques européennes encouragent, elles aussi, un développement spatial polycentrique, et cela à différents niveaux territoriales. A l'échelle inter-urbaine, le polycentrisme est considéré comme un modèle permettant de faire converger les disparités régionales, alors qu'à l'échelle intra-urbaine, un développement urbain polycentrique structuré doit permettre de lutter contre l'étalement urbain qui touche la plupart des villes du continent (ESPON, 2005).

I-3 Délimiter les espaces urbains : définitions et critères

La complexité de la ville conduit à multiplier les concepts et les définitions qui enrichissent les visions de la ville. « *Les villes sont cependant des objets trop riches et trop divers pour qu'une seule définition, une conception unique, puisse en rendre compte* » (Pumain et al., 1991, p.7). Sur la base de ces divers concepts, le champ de la délimitation des villes peut se diviser en trois approches qui, chacune à leur façon, définissent des espaces urbains qui répondent à des enjeux différents :

- L'approche *administrative* vise à définir des *localités urbaines* dont l'enjeu est, aujourd'hui, avant tout concentré sur une gestion urbaine intercommunale afin de favoriser le développement d'aménagements locaux et la collaboration financière.
- L'approche *morphologique* définit des *agglomérations urbaines*, un concept principalement mobilisé dans le cadre des comparaisons internationales des villes.
- L'approche *fonctionnelle* cherche à définir des *régions urbaines*, soit des espaces qui correspondent davantage aux espaces de vies actuels et qui concentrent les enjeux économiques régionales. L'intérêt se porte également sur une conception *polycentrique* des régions urbaines, qui fait référence à des enjeux de développement à l'échelle régionale.

En fonction de la position théorique choisie, il reste pour les statisticiens et les décideurs politiques à définir certains critères et faire des choix méthodologiques afin d'aboutir à la définition d'un espace urbain. La démarche comprend notamment le choix des indicateurs à privilégier. Ceux-ci dépendent fortement de l'approche conceptuelle utilisée : l'approche morphologique privilégie par exemple des indicateurs du milieu bâti abordé par des mesures de continuités ou de densités ; les délimitations d'espaces fonctionnels se basent principalement sur des indicateurs d'interactions comme les mesures de pendularité intercommunale. S'agissant de l'approche administrative, les indicateurs sont moins statistiques que politiques.

I.3.1 Définitions nationales officielles

L'utilisation d'indicateurs statistiques, nécessite des mesures rigoureuses et transposables qui comprennent des choix de seuils afin de délimiter l'étendue spatiale d'un phénomène. Différents critères (indicateurs, mesures et seuils) qui sont à la base des définitions officielles.

Malgré le fait que certaines méthodes de délimitations s'affranchissent volontiers de la trame administrative, l'ensemble des pays possèdent des définitions officielles ajustées sur le découpage communal qui constitue bien souvent le premier échelon du maillage administratif. La surface de ces subdivisions peut cependant varier considérablement d'un pays à l'autre (Pumain et al., 1991), et il est dès lors important de prendre en compte les disparités de maillage lors des comparaisons internationales.

I.3.1.1 Définitions administratives

Dans certains pays européens, les autorités administratives différencient encore les municipalités urbaines des municipalités rurales sur la base de leur masse démographique, leur rôle politique ou historique, sans se soucier de l'organisation spatiale du territoire (ESPON, 2006).

I.3.1.1.a Seuil de population communale

La définition la plus basique, mais également sans doute la moins représentative du phénomène urbain (s'il est utilisé sans un autre indicateur), fait référence au seuil de population communale : ce seuil est toutefois encore appliqué par quelques pays européens afin d'identifier les communes urbaines (ESPON, 2006). Ce statut de ville ne leur garantit pas pour autant des privilèges sur le plan institutionnel, il peut s'agir parfois d'un simple outil descriptif (Pumain et al., 1991).

Pays	Seuil de population
Autriche	20'000
Espagne	10'000
Italie	10'000
Luxembourg	2'000
République Tchèque	2'000
Slovaquie	5'000
Suisse	10'000

Tableau I.1. Seuil de population communale par pays (sources : Le Gléau, 1996 ; ESPON, 2006)

I.3.1.1.b Décisions politiques

Dans d'autres pays européens, les autorités institutionnelles attribuent aux communes un statut urbain pour des raisons administratives ou historiques. Dans certains cas, ce statut peut leur conférer certains droits et des fonctions administratives d'importance régionale ou nationale (ESPON, 2006).

L'accès au statut de « ville » peut dépendre du rôle des municipalités sur la scène politique. En Pologne par exemple, le Premier Ministre a le pouvoir de prendre des décisions au cas-par-cas sur la base de mesures de population, de densité ou de surface bâtie, et cela sans seuils quantitatifs définis officiellement (ESPON, 2006). La situation est comparable en Hongrie où il existe deux types de statut : le premier, sur décision du parlement, permet d'accéder au statut de capitale régionale si le seuil de 50'000 habitants est atteint, alors que le second, sur décision présidentielle, permet d'obtenir le statut de ville sur la base de critères fonctionnels, morphologiques, culturels ou institutionnels (ESPON, 2006). Le cas de l'Allemagne, pays fédéraliste, est également intéressant car ce sont les *Länders* qui détiennent en partie le pouvoir de statuer sur les villes et l'aspect historique y joue un rôle prépondérant (ESPON, 2006 ; Pumain et al., 2006). L'aspect historique est toutefois remis en question dans le cas du Royaume-Uni pour deux raisons (ESPON, 2006) : la non-conformité des frontières historiques avec les villes actuelles, et l'évolution des hiérarchies au sein du système urbain national en raison de la perte d'influence de certaines cités historiquement importantes (ESPON, 2006).

D'après les exemples précédents, la définition administrative des villes semble être largement soumise aux visions plus ou moins objectives de la classe politique élue, sans véritablement prendre en compte les structures et les dynamiques urbaines en présence. D'autres pays basent néanmoins leurs définitions administratives sur des définitions statistiques mixtes qui incorporent à la fois des critères morphologiques et fonctionnels de l'espace urbain. C'est le cas de la Suisse et de la France en ce qui concerne les définitions à la base de leur politique des « agglomérations » (ARE, 2001 ; Etat français, 1999) mise en place afin d'accompagner la croissance urbaine par une gestion intercommunale des problématiques de la ville. Dans ces deux cas, le périmètre n'est pas restreint à la définition statistique et peut être ajusté en fonction de l'adhésion politique, ou non, de municipalités à un projet commun. Des projets d'« agglomération » qui sont ensuite pilotés par une structure intercommunale et dont les actions sont validées par l'Etat, en raison du financement qu'il accorde aux grands projets d'infrastructures urbaines.

I.3.1.2 Définitions morphologiques

Plus couramment, de nombreux pays européens ont adopté une définition urbaine morphologique. Pour la plupart d'entre eux, la méthode utilisée est assez semblable et se basent sur des agrégats élémentaires de peuplements caractérisés par deux indicateurs : une masse démographique minimale et une continuité bâtie maximale entre les différents agrégats (Pumain et al., 1991).

Les seuils utilisés peuvent également varier considérablement d'un pays à l'autre. La masse démographique, mesurée par un nombre d'habitants minimum, varie de 50 en Irlande à 1 000 en Angleterre (Le Gléau et al., 1996). La France a supprimé le critère démographique de l'agrégat en

1982 (Le Gléau et al., 1996). L'Irlande se base sur des agrégats de maisons occupées plutôt que sur des agrégats de population comme il l'est fait dans les autres pays (Pumain et al., 1991 ; Le Gléau et al., 1996).

S'agissant de la continuité bâtie, mesurée par un seuil de distance maximal, il peut varier de 50m au Royaume-Unis à 250m en Belgique, mais beaucoup de pays appliquent un seuil de 200 m, une valeur recommandée par l'ONU pour la définition des agglomérations (Tab. I.1) (ESPON, 2006 ; INSEE, 2010).

Pays	Seuil de population de l'agrégat	Seuil de continuité entre les habitations
Angleterre	1000 hab.	50 m
Autriche	500 hab.	200 m
Belgique	150 hab.	250 m
Danemark	200 hab.	200 m
Ecosse	500 hab.	50 m
Finlande	200 hab.	200 m
France	Aucun	200 m
Grèce	Aucun	200 m
Irlande	50 (maisons occupées)	200 m
Norvège	200 hab.	50 m
Pays de Galle	1000 hab.	50 m
Suède	200 hab.	200 m

Tableau I.2. Seuils pour les délimitations morphologiques (sources : Le Gléau, 1996 ; ESPON, 2006)

Les distances de continuité du bâti sont en principe mesurées à partir de cartes ou de photographies aériennes en analysant les distances sur les surfaces non-construites du territoire, mais là encore quelques particularités nationales sont à noter. La France et le Danemark considèrent que les espaces publics non-construits (parcs, terrains de sports) ou les cours d'eau, n'interrompent pas la continuité, alors que la Belgique, se limite strictement à la construction (Pumain et al., 2006 ; INSEE 2010).

A partir de l'agglomération morphologique définie précisément autour des habitations, la délimitation finale, qui prend le nom d'*agglomération opérationnelle* en Belgique ou d'*unité urbaine* en France, résulte d'un ajustement sur les limites administratives communales. Dans plusieurs pays (France, Autriche, Grèce), si plus de 50% de la population d'une commune fait partie de l'agglomération morphologique, l'ensemble de la commune appartient alors à l'entité finale. Un seuil

minimal de population totale agglomérée doit cependant être atteint pour que l'entité soit considérée comme une agglomération : ce seuil s'élève à 2 000 habitants en France ou en Autriche, et à 10 000 en Grèce (Le Gléau et al., 1996).

Dans les pays britanniques, l'ajustement de l'agglomération s'effectue sur un maillage territorial infra-communal (ESPON, 2006). Ces échelons infra-communaux portent les noms d'*Enumeration district* en Angleterre ou au Pays de Galles, et de *District electoral division* en Irlande. Dans le cas irlandais, l'entité finale, doit abriter une population d'au moins 1 500 habitants pour être considérée comme agglomération urbaine (*aggregate town area*) (Pumain et al., 1991).

1.3.1.3 Définitions fonctionnelles

Face à ces définitions morphologiques, les définitions fonctionnelles, définissant des régions urbaines ou des bassins d'emploi demeurent un enjeu important de gestion et d'identification des dynamiques socio-économiques compris dans la sphère d'influence d'un centre.

1.3.1.3.a Régions urbaines

Malgré la difficulté d'application de définitions de régions urbaines fonctionnelles, nombreux sont les pays européens qui l'ont adoptée. La méthodologie utilisée par les différents pays est assez similaire, elle se divise souvent en trois étapes (Tab.I.3) (ESPON, 2006) :

- Définition d'un noyau central (*urban core*)
- Définition d'une couronne suburbaine dense et adjacente au noyau central (*inner ring*)
- Définition d'une couronne périurbaine caractérisée par une dispersion du bâti (*outer ring*)

Pays	Nom de la région urbaine	Nom du noyau central	Couronne suburbaine	Couronne périurbaine
Allemagne	Stadtregion	Kernstatd	Ergänzunggebiet	Pendlerverflechtungsraum
Belgique	Région urbaine	Ville centre	Agglomération	Banlieue
France	Aire urbaine	Pôle urbain	Banlieue	Couronne périurbaine
Royaume-Unis	Urban area	Metropolitan economic labour areas	Inner ring	Outer ring
Suisse	Agglomération urbaine	Commune-centre	Zone centrale	Reste de l'agglomération

Tableau I.3. Les régions urbaines et leur subdivision dans 5 pays européen (sources : ESPON, 2006)

La démarche méthodologique est assez similaire, mais les nombreux critères utilisés dans la définition des sous-espaces, peuvent varier considérablement. Il est néanmoins possible de dégager certains indicateurs communs aux différents pays (ESPON, 2006) :

- Seuil de population du noyau central
- Seuil d'emplois localisés dans le noyau central
- Taux de pendularité de la population active des communes périphériques vers le noyau central
- Représentation de secteurs d'emploi de la population active

Il est relativement difficile ensuite de faire une synthèse plus précise des indicateurs mis en place dans les différents pays tant les critères à remplir peuvent être nombreux pour qu'une commune soit englobée ou non dans un des sous-espaces de la région urbaine.

Les seuils utilisés pour définir le noyau central peuvent varier par exemple de 5000 emplois en France ou en Autriche à 20'000 emplois au Royaume Unis (ESPON, 2006). Pour la couronne suburbaine, ses limites peuvent dépendre de la définition de l'agglomération morphologique (France, Belgique), d'un taux de pendularité (Autriche, Royaume-Unis), ou encore de seuils de population et d'emplois (Pays-Bas, Suisse, Royaume-Unis) (ESPON, 2006). Puis concernant la couronne périurbaine, sa définition est généralement liée à un taux de pendularité de la population active des communes périphériques vers le noyau central pouvant varier de 17% en Suisse à 40% en France (Schuler et al., 2005 ; INSEE, 2010).

Ce foisonnement de critère explique largement l'impossibilité de réaliser des comparaisons internationales sur la base des définitions mises en place dans chaque pays.

1.3.1.3.b Bassins d'emploi

Alors que les régions urbaines se limitent à définir la sphère d'influence d'un centre, la définition des bassins d'emploi, mise en œuvre dans plusieurs pays européen (Suède, Norvège, Finlande, Italie, Royaume-Unis) (ESPON, 2006), permet d'étendre le concept de « région fonctionnelle » à l'ensemble du territoire national afin de que chaque commune soit intégrée à une région fonctionnelle.

Ce processus de régionalisation se base essentiellement sur les mobilités quotidiennes mises en évidence par les pendularités intercommunales. La plupart des communes possèdent en effet des flux préférentiels vers de grands centres d'emplois, permettant ainsi un découpage du territoire en différents bassins d'emploi (ESPON, 2006). La France possède en revanche une alternative intéressante à cette définition : les « bassins de vie », une définition qui a pour objectif de prendre en considération divers aspects de la mobilité quotidienne, pas uniquement les déplacements domicile-travail, en se basant sur l'accessibilité de chaque commune aux équipements et services les plus courants (INSEE, 2012).

I.3.2 Vers une harmonisation internationale ? Le cas européen

La construction européenne est un processus complexe. Elle nécessite, d'une part, la mise en place de systèmes de régulations institutionnels ou financiers, mais aussi, d'autre part, le développement d'instruments permettant une compréhension commune des phénomènes, notamment spatiaux, se déroulant sur un territoire comprenant 27 Etats (Guérois et al., 2012). Dans ce contexte, le développement d'une définition harmonisée des villes est indispensable afin de fournir des informations comparables qui permettent une analyse des dynamiques territoriales (Peeters, 2011).

C'est pour répondre à ces attentes que le projet « ESPON database 2013 » a mis en place les deux définitions suivantes : les aires urbaines morphologiques (AUM) et les aires urbaines fonctionnelles (AUF), qui délimitent, toutes deux, des ensembles constitués par des unités administratives locales (niveau LAU2), correspondant aux municipalités ou aux quartiers dans les cas du Royaume-Uni et de l'Irlande (Peeters, 2011).

Les AUM se basent sur le concept morphologique de la ville. Elles ont pour objectif de délimiter une zone centrale d'au moins 20'000 habitants par une mesure de densité de population, dont le seuil minimal est fixé à 650 habitants par km² (Peeters, 2011). Les AUF, elles, se réfèrent à la conception fonctionnelle de la ville et se définissent par un bassin de LAU2 au sein desquels au moins 10% de la population active résidente se rend quotidiennement dans la AUM pour y travailler (Peeters, 2011). Les AUF nécessitent généralement des ajustements de périmètre, en y ajoutant d'une part les LAU2 enclavées qui ne satisfont pas au seuil de 10%, et en supprimant d'autre part les LAU2 spatialement disjointes (Peeters, 2011).

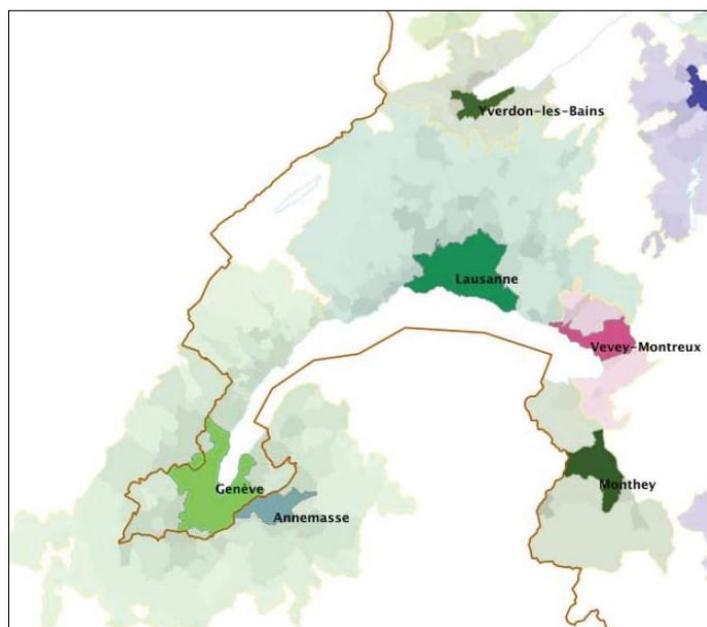


Figure I.3. AUM (en foncé) et AUF (en clair) dans la région Lémanique (source : Peeters, 2011)

En parallèle au projet ESPON, l'agence européenne de l'environnement (AEE), avec son programme « CORINE Land cover », a produit une couverture exhaustive des modes d'occupation du sol à l'échelle européenne sur la base d'image satellite (Guérois, 2003). Parmi les différentes typologies d'utilisation du sol, les UMZ (Urban morphological zones) délimitent des agglomérations morphologiques définies à travers l'observation des territoires artificialisées (Guérois, 2003) : zones urbanisées ; zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication ; mines, décharges et chantier ; espaces verts artificialisés, non agricoles.

Ces trois définitions (AUM, AUF, UMZ) ont fait l'objet de plusieurs études comparatives sur les villes européennes (Guérois, 2003 ; Guérois et Pumain 2008 ; Halbert et al., 2012 ; Guérois et al., 2012). Des études qui font suite à d'autres études comparatives (Cattan et al., 1994 ; Vanderमotten, 1999 ; Rozenblat et Cicille, 2003) réalisées à partir de définitions souvent quelque peu différentes. Et c'est là un des enjeux majeurs des définitions urbaines: la stabilité d'une définition dans le temps, qui doit permettre de fournir un cadre d'étude spatio-temporelle.

I.3.3 Recherches innovantes sur les délimitations

Pour permettre de répondre au mieux aux enjeux relatifs à la définition des villes, qu'ils soient locaux, régionaux ou globaux, des recherches innovantes sur les délimitations urbaines sont menées par divers instituts scientifiques. Ces travaux ont pour objectifs, d'une part, d'explorer de nouveaux concepts de délimitations afin de mettre à jour des visions nouvelles de la ville, et d'autre part, d'approfondir des variantes de délimitations déjà connues afin de cerner au mieux la réalité urbaine qu'elles sont sensées représenter.

Dans ce contexte, les technologies de l'information permettent notamment de diversifier les sources de données, offrant la possibilité de mettre en lumière des processus encore peu connus des phénomènes urbains. Par ailleurs des outils informatiques de plus en plus performants permettent de développer de nouvelles approches grâce au traitement et à l'analyse des immenses bases de données.

I.3.3.1 Nouvelles données disponibles

Les nouvelles données qui sont utilisées dans le cadre des recherches les plus récentes sont généralement issues des nouvelles technologies de l'information et de communication. Images satellites, données téléphoniques et autres services de localisation permettent en effet d'élargir le champ des possibles de l'analyse urbaine.

I.3.3.2.a Images satellites

L'identification des surfaces urbanisées à partir des images satellitaires s'est développée dès la fin des années 1980 (Guérois, 2003) grâce aux apports des techniques de télédétection, ou détection à

distance, qui enregistrent et traitent les informations électromagnétiques renvoyées par la surface terrestre (Bailly et al., 2005). Concrètement, ces données permettent d'observer la réalité physique des villes (Guérois, 2003) et constituent par conséquent une source d'information extrêmement intéressante lorsqu'il s'agit de délimiter les villes selon une approche morphologique.

En effet, quand on les compare à des sources de données plus traditionnelles, comme les photographies aériennes ou les cartes topographiques, les images satellites comportent de nombreux avantages (Donnay et al., 2001 ; Guérois, 2003) :

- Les surfaces couvertes par les satellites rendent possibles des analyses comparatives sur de grandes étendues, en intégrant plusieurs espaces nationaux où les données statistiques manquent cruellement comme les pays du tiers monde par exemple.
- La répétitivité des enregistrements permet d'obtenir des séries temporelles et de réaliser par conséquent des études sur de longues périodes.
- La forme numérique des données collectées comporte l'avantage de pouvoir automatiser certains traitements et de faciliter la production de typologie d'utilisation du sol (Fig I.4).
- L'amélioration constante de la qualité des images aériennes permet des analyses sur des espaces toujours plus restreints, offrant de nouvelles perspectives dans l'étude des zones complexes comme les villes.

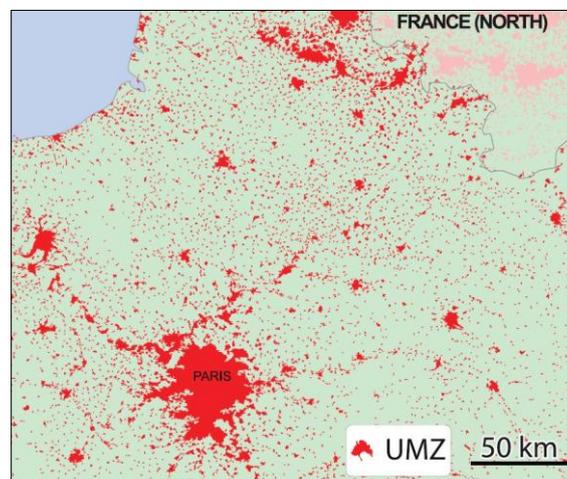


Figure I.4. Typologie d'utilisation du sol : l'exemple des UMZ du Nord de la France
(source : Guérois et al., 2012)

L'apport des images satellites dans la cadre des analyses urbaines semble être évident. D'une part pour délimiter les zones urbaines et donc les agglomérations morphologiques, mais aussi afin d'observer la dynamique des zones urbaines dans le temps et le processus d'étalement urbain (Donnay et al., 2001).

1.3.3.2.b Données téléphoniques

D'une manière générale et depuis la fin des années 1990, la connectivité et la communication des individus urbains a été démultiplié grâce aux nouvelles technologies de l'information. Les données téléphoniques, et notamment celles provenant de la téléphonie mobile, sont une des composantes résultant de cette ville informationnelle hyper-connectée (Castells, 1996), mais d'autres données numériques, et souvent géolocalisées, sont sans cesse collectées par des services urbains sans que les utilisateurs n'en soient vraiment conscients (Fen-Chong, 2012) : vélos en libre services, réseaux de transport public, péages urbains. Une « *collecte passive* » qui se distingue de la « *collecte active* » (Fen-Chong, 2012), qui concernent des données publiées directement par les individus sur les réseaux sociaux, et qui comprend les partages de localisation momentanée ou encore les photographies localisées à certains lieux (Fen-Chong, 2012).

Concernant les données téléphoniques, l'intérêt qu'elles peuvent susciter dans le cadre de l'analyse de l'environnement urbain concerne principalement trois aspects (Fen-Chong, 2012) : la mobilité spatiale, les intensités urbaines et les interactions sociales.

Pour la mobilité, le trafic de données enregistré aux antennes de téléphonie mobile au cours de la journée permet une traçabilité des objets mobiles, grâce à laquelle il est ensuite possible de faire une approximation des trajectoires individuelles dans l'espace urbain (Fen-Chong, 2012). La somme des trajectoires individuelles peut permettre ensuite de mettre en lumière des flux préférentiels de déplacements au sein des villes, et cela à différents moment de la journée. Ces connaissances pourraient notamment s'avérer utile dans la gestion des flux de transport urbain.

Le nombre de connexions des mobiles aux antennes permet également de mesurer les densités d'utilisateurs présents en certains lieux et de visualiser ainsi la dynamique sociale de l'espace urbain (Fig I.5) (Pulselli et al., 2008). Une telle cartographie des intensités urbaines, du rythme urbain à la fois dans son aspect spatial et temporel, peut aussi s'avérer intéressant pour la gestion des villes, de ses espaces publics et de ses réseaux de transport.

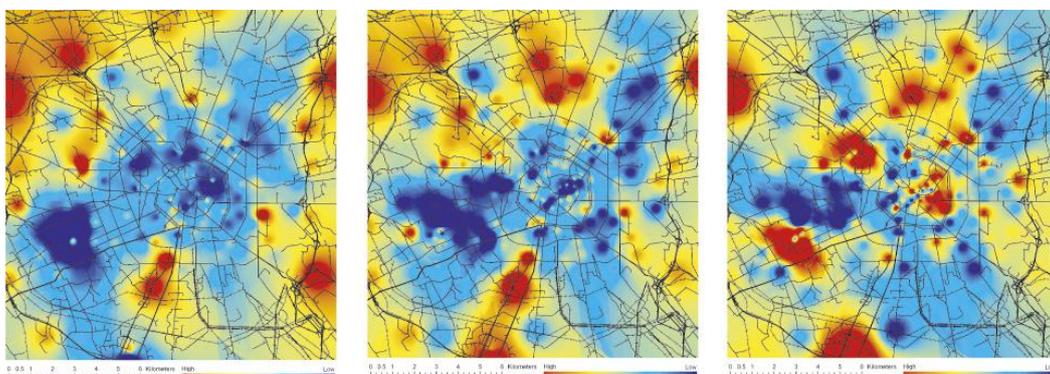


Figure I.5. Densité de connexion des téléphones mobiles dans l'aire urbaine de Milan à différents moments de la journée (source : Pulselli et al., 2008)

Un troisième aspect concerne les interactions spatiales qui peuvent être observées lors des communications (appels ou SMS) entre les utilisateurs de téléphones fixes ou mobiles. En effet, en localisant la source et le destinataire de l'appel à son adresse de facturation, il est possible de construire un réseau représentant les interactions humaines (Ratti et al., 2010 ; Blondel et al., 2010) et d'observer ainsi les relations que tissent entre eux différents espaces, et cela à des échelles géographiques allant du local au global.

En résumé, les données téléphoniques constituent une source d'information gigantesque dans les cas où elles sont mises à la disposition des chercheurs par les opérateurs téléphoniques. De plus, leur acquisition ne nécessite pas de recensements de la population souvent coûteux, car le réseau téléphonique est déjà en place (Caceres et al., 2007). La problématique principale liée à de telles données concerne bien entendu le respect de la sphère privée des utilisateurs. Pour cette raison, les données mises à disposition des chercheurs sont en principe agrégées à un niveau géographique (administratif ou grille régulière) et anonymisées.

I.3.3.2 Nouvelles approches

D'un point de vue scientifique, les masses de données nouvellement accessibles n'ont de sens qu'à travers une utilisation les reliant à des concepts théoriques faisant l'objet d'un compromis scientifique. Or la conjonction de ces masses de données avec la performance des outils informatiques actuels permet, d'une part, de redécouvrir et de tester empiriquement des concepts théoriques développés parfois depuis plusieurs décennies, et d'autre part, d'en imaginer de nouveaux. Des nouvelles approches développées pour délimiter les villes (méthode fractale, analyse de réseaux) s'insèrent particulièrement bien dans ce contexte et pourraient influencer, à l'avenir, la manière dont les villes sont définies statistiquement.

I.3.2.3.a Méthode fractale

Mis en évidence par B. Mandelbrot dès les années 70, la particularité d'un objet fractal réside dans l'invariance de sa structure à travers les changements d'échelles (Fig I.6). La géographie urbaine s'est inspirée de cette théorie afin de mettre en évidence des interrelations entre des structures spatiales locales et globales. L'approche fractale a mené notamment à des études sur l'organisation multi-échelle de la croissance urbaine (Fotheringham et al., 1989), sur les relations entre l'aspect fractal des villes et leur limite bâtie (Frankenhauser, 1994), ou sur les relations d'échelle entre le nombre d'agrégats bâtis (*cluster*) et leur taille (De Keersmaecker et al., 2003).

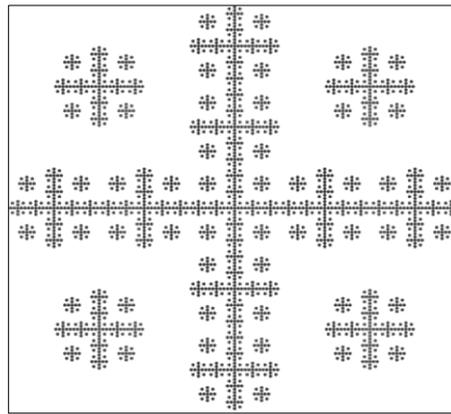


Figure I.6. La ville fractale théorique (source : Tannier et al., 2011)

Tannier et al. (2011) proposent une méthode pour délimiter les villes selon une approche morphologique en intégrant cette caractéristique fractale de la forme urbaine. Les auteurs se basent sur des images vectorielles qui contiennent la totalité des bâtiments géoréférencés dans un espace suffisamment large du territoire. Puis par une série de dilation (Minkowski, 1903) sur les éléments construits (Fig I.7), les bâtiments s'insèrent dans des agrégats de plus en plus grands pour ne former, à la fin du processus itératif, qu'un seul et unique cluster.

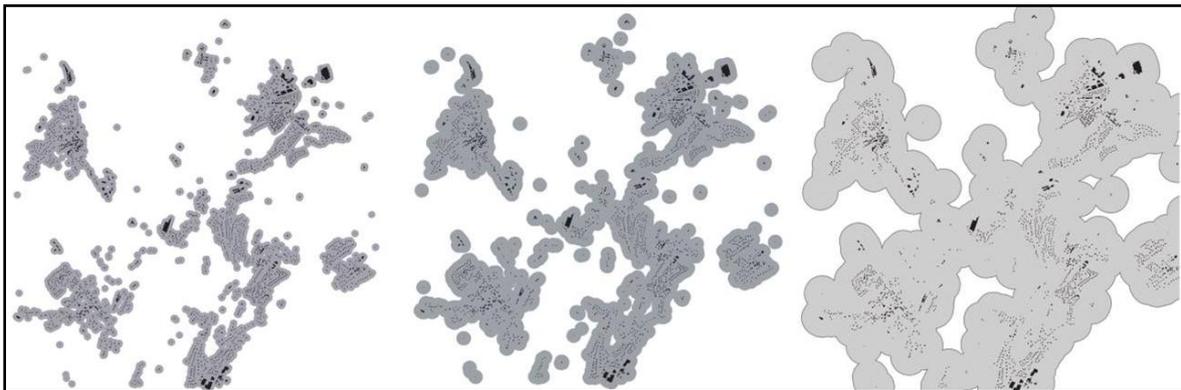


Figure I.7. Illustration du processus itératif de dilation sur un tissu bâti
(source : Tannier et Thomas, 2013)

L'enjeu de la méthode consiste à analyser la courbe résultant du processus itératif qui se définit graphiquement par le nombre de clusters identifiés à chaque étape en fonction de la distance de dilation. Dans le cas de la ville fractale théorique (Fig I.6), le résultat graphique équivaut à une droite alors que dans le cas des villes réelles, une rupture peut être identifiée sur la courbe obtenue. Ce seuil représente le « *point de rupture dans l'organisation multi-échelle du tissu bâti* » (traduction de Tannier et al., 2011, p.213) et correspond à la distance optimale de contiguïté à appliquer à une ville pour délimiter son agglomération morphologique.

L'apport principal de la méthode fractale pour les délimitations morphologiques est de s'adapter aux formes urbaines de chaque ville considérée, sans fixer de seuil de contiguïté *a priori* pour l'ensemble des villes. Un seuil souvent, qui plus est, difficile à justifier dans un contexte aussi hétérogène que la morphologie de la ville contemporaine (Thomas et al., 2012).

Malgré le fait que des seuils soient définis pour chaque ville, il n'en reste pas moins possible de réaliser des comparaisons nationales ou internationales tant que la méthode et les données utilisées sont identiques pour chacune des villes considérées.

1.3.2.3.b Analyse de réseaux

Dans un autre registre de l'analyse quantitative, les analyses de réseaux ont connu, à partir des années 1990, un regain d'intérêt remarquable depuis leur émergence en géographie dans les années 1960 (Beauguitte et Ducruet, 2011). Principalement concentrée à l'époque sur des applications de la théorie des graphes aux réseaux de transports physiques, tels que les chemins-de-fer ou le réseau routier (Kansky, 1963 ; Hagget et Chorley, 1969), l'analyse de réseaux a par la suite été intégrée dans l'étude des « systèmes de villes » afin de caractériser des interactions socio-économiques inter-urbaines: liens entre multinationales (Rozenblat et Pumain, 1993), flux de voyageurs aériens (Cattan, 1995).

Concernant l'échelle intra-urbaine, l'analyse de réseaux représente une méthode innovante dans le cadre des analyses des flux de pendulaires utilisés pour délimiter les régions urbaines fonctionnelles. En effet, dans de nombreux pays, les régions urbaines sont définies sur la base d'un pourcentage de la population active communale se rendant quotidiennement dans la zone centrale (localité ou agglomération) pour y travailler. Or cette méthode « classique » (Fig I.8.a) a pour effet de prendre en considération uniquement les flux centrifuges, centre-périphéries, sans prendre en compte les liens pouvant exister entre des communes périphériques (Tissandier et al., 2013). Pourtant, avec l'avènement de la ville polycentrique et des *edges cities* (Garreau, 1991), il paraît essentiel de considérer les flux reliant des centralités secondaires afin de caractériser une éventuelle structure polycentrique de la ville.

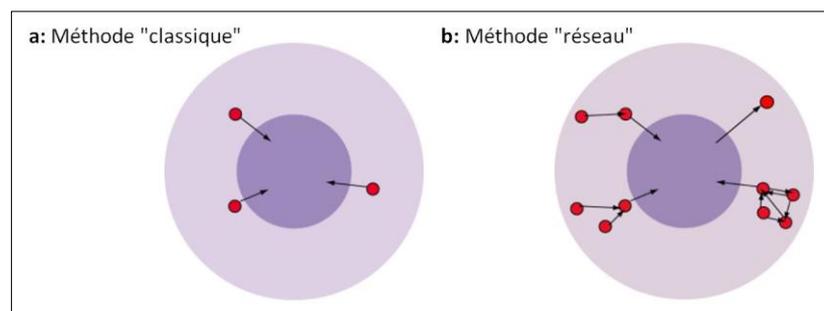


Figure I.8. Méthodes de délimitations des régions urbaines (source : Tissandier et Rozenblat, 2007)

La méthode « réseau » (Fig I.8.b) permet d'apporter alors une alternative intéressante à la problématique posée par la ville polycentrique, car l'ensemble des flux, quelque soit leur direction, sont pris en considération par le modèle (Tissandier et al., 2013), et cela sans forcément définir de centre principal *à priori* (Thomas et al., 2012).

Plusieurs études (Dessemontet et al., 2010 ; Tissandier et al., 2013) ont récemment mis en évidence le polycentrisme des régions urbaines en appliquant des analyses sur les réseaux des pendulaires et en réalisant des visualisations intéressantes des structures urbaines (Fig I.1 et Fig I.9).

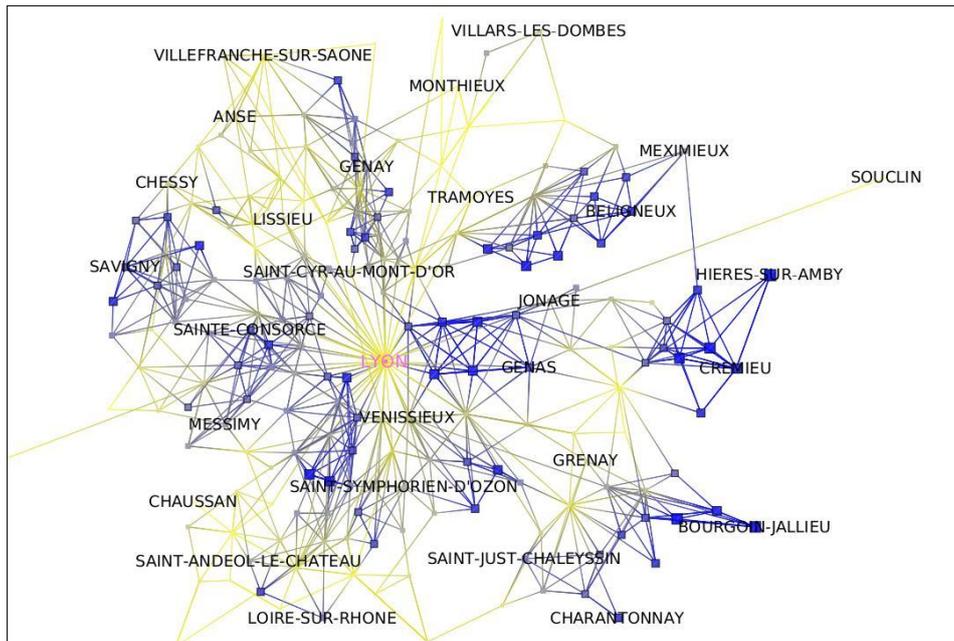


Figure I.9. Polycentrisme dans le réseau des pendulaires à Lyon en 1999

(source : Tissandier et al., 2013)

L'analyse de réseaux permet en outre de réaliser des partitionnements sur des graphes d'une grande complexité en appliquant des algorithmes de modularité (Newman, 2006). Cette manière de procéder offre la possibilité de découper un territoire en fonction de ses relations fonctionnelles, avec l'avantage de ne pas définir de seuils quantitatifs *a priori* (Tannier et al., 2012). Récemment, plusieurs études ont utilisé ces algorithmes afin de délimiter des territoires fonctionnels pour ensuite comparer les résultats aux frontières administratives officiellement en vigueur.

Thomas et al. (2012) ont par exemple divisé une première fois la Belgique en bassins d'emploi en utilisant le réseau des pendulaires, puis une seconde fois en utilisant le réseau des communications mobiles. Les auteurs proposent ensuite une délimitation de la région urbaine de Bruxelles sur la base des découpages observés.

Le *SENSEable city lab* du MIT (Massachusetts Institute of Technology) a produit de nombreuses études dans ce domaine : par exemple en redessinant les cartes de la Grande-Bretagne (Ratti et al., 2010) et des Etats-Unis (Calabrese et al., 2011) en se basant sur des réseaux de communications téléphoniques.

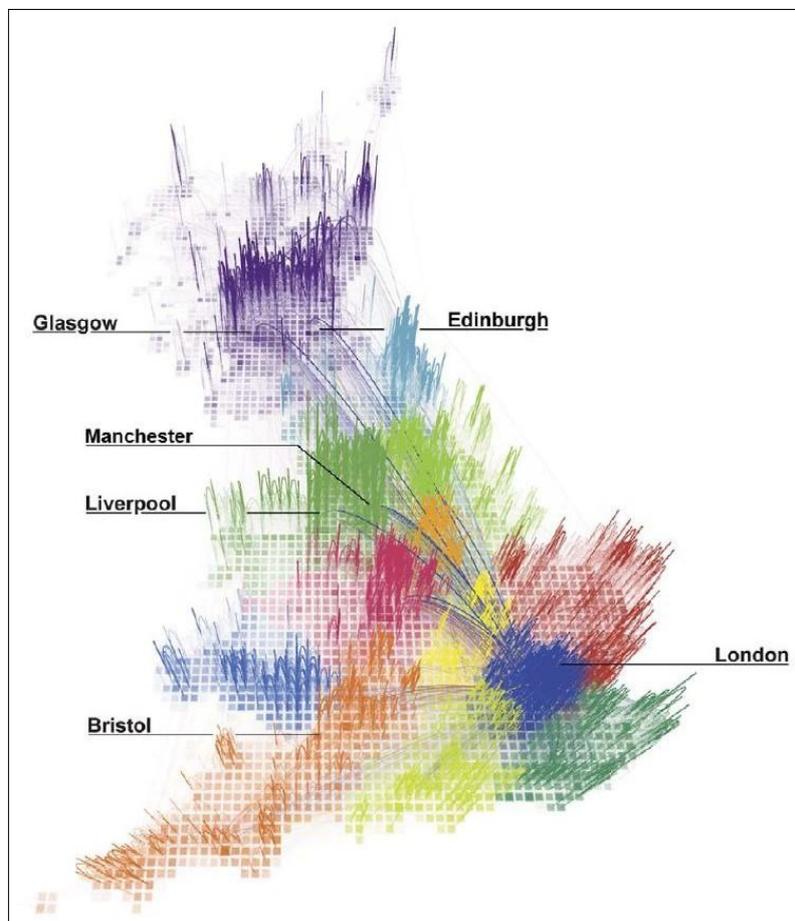


Figure I.10. Bassins téléphoniques en Grande-Bretagne
(source : Ratti et al., 2010)

I-4 Les délimitations urbaines en Suisse

En Suisse, l'Office Fédéral de la Statistique (OFS) a pour tâche de définir des espaces urbains depuis plus de 100 ans. La méthodologie de délimitations actuelle a été élaborée en 1980, avec de légères modifications apportées lors des mis-à-jour qui ont suivi. La dernière remonte à 2003 et se base sur les statistiques du recensement fédéral paru en l'an 2000.

I.4.1 Définitions 2003

La *zone urbaine* suisse, définie en 2003, regroupe 50 *agglomérations* et 5 *villes isolées*, au sein de laquelle sont identifiées 5 *aires métropolitaines* (Schüler et al., 2005) fortement connectées aux métropoles des pays voisins (Bassand, 2004).

I.4.1.1 Les agglomérations

La définition des *agglomérations* suisses est particulièrement complexes en raison des nombreux critères statistiques pris en considérations (Tab I.4).

Une agglomération doit remplir les conditions suivantes :

- a) Former un ensemble d'au minimum 20 000 habitants, grâce à la réunion des territoires de plusieurs communes adjacentes.
- b) Posséder une zone centrale formée d'une commune-centre et, suivant le cas, d'autres communes offrant chacune 2000 emplois au minimum ainsi que 85 emplois (personnes occupées dans la commune) sur 100 personnes actives occupées domiciliées dans la commune. En outre, ces communes doivent soit former une zone bâtie continue avec la commune-centre ou avoir une frontière commune avec elle, soit y envoyer travailler au minimum 1/6 de leur population active occupée.
- c) Une commune n'appartenant pas à la zone centrale sera rattachée à l'agglomération :
 - Si au minimum 1/6 de sa population active occupée résidente travaille dans la zone centrale définie précédemment.
 - Si au minimum trois des cinq conditions figurant ci-dessous sont remplies :
 1. Lien de continuité de la zone bâtie avec la commune-centre de l'agglomération. Les zones non bâties (terres agricoles ou forêts) ne doivent pas dépasser 200 mètres.
 2. La densité combinée habitants/emplois par hectare de surface urbanisée et agricole (sans les alpages) doit être supérieure à 10.
 3. La croissance démographique au cours de la décennie écoulée doit être supérieure de plus de dix points par rapport à la moyenne nationale. (Ce critère n'est valable que pour les communes qui ne font pas encore partie d'une agglomération; pour les autres, il sera considéré comme acquis indépendamment du taux atteint).
 4. Au minimum 1/3 de la population active occupée résidente doit travailler dans la zone centrale. Les communes jouxtant deux agglomérations remplissent également ce critère si 40% au moins de leur population active occupée résidente travaille dans les deux zones centrales, dont au minimum 1/6 dans chacune des deux.
 5. La proportion de personnes résidentes travaillant dans le secteur primaire ne doit pas dépasser le double de la moyenne nationale.

Tableau I.4. Critères de définition des *agglomérations* suisses (source : Schüler et al., 2005)

De par la nature des critères utilisés et la méthodologie par étape, la définition des *agglomérations* suisses renvoient au concept de la région urbaine fonctionnelle. Cependant, la terminologie utilisée par l'OFS pour nommer ces espaces fonctionnelles est contradictoire, étant donné que, dans la littérature scientifique, le terme d'« agglomération » est utilisé généralement pour définir des villes selon le concept morphologique.

I.4.1.2 Les villes isolées

Les communes de plus de 10'000 habitants prennent, par définition, la dénomination de *ville* (Schüler et al., 2005). Ce seuil de population communale est avant tout utilisé pour intégrer à la *zone urbaine* suisse des localités urbaines : les *villes isolées*, sans entourage suburbain et à l'écart des *agglomérations* du pays (Bassand, 2004).

I.4.1.3 Les aires métropolitaines

Le réseau constitué par les *agglomérations* et les *villes isolées* est dominé, à un niveau supérieur, par des espaces métropolitains (Bassand, 2004). La définition des *aires métropolitaines* dépend principalement des limites des agglomérations principales :

« Les grandes agglomérations de Zurich, Genève-Lausanne et Bâle forment avec les agglomérations attenantes les aires métropolitaines pour autant que plus de 1/12 des actifs résidant dans une agglomération attenante travaillent dans la grande agglomération. Berne et la Regione insubrica au Tessin illustrent des systèmes d'agglomérations multipolaires. La seule agglomération bernoise est déjà considérée comme aire métropolitaine alors que Côme-Chiasso-Mendrisio est une agglomération attenante de la métropole milanaise. » (Schüler et al., 2005)

Cette définition n'est que rarement utilisée. On peut lui reconnaître toutefois qu'elle illustre la volonté des auteurs d'intégrer le concept de polycentrisme et le caractère transfrontalier de certaines régions urbaines.

I.4.1.4 L'utilisation des définitions en Suisse

En Suisse, la délimitation des *zones urbaines* permet avant tout de différencier les espaces urbains des espaces ruraux et offre la possibilité de réaliser des études scientifiques ciblées sur ces deux espaces d'analyse (voir ARE, 2009 pour les espaces urbains ; Schüler et al., 2004 pour les espaces ruraux).

Au cours de la dernière décennie, la définition des *agglomérations* a surtout eu un impact important dans le cadre de l'évolution des politiques de gestion urbaine. En effet, la politique fédérale des agglomérations (ARE, 2001) a été lancée suite à la prise de conscience de l'écart grandissant entre les espaces fonctionnels délimités par les *agglomérations* et les espaces institutionnels. Dans ce

contexte, la définition de l'OFS a constitué un cadre de référence indispensable à la mise en place d'une politique de gestion urbaine intercommunale, soutenue financièrement par la Confédération, qui vise à faciliter le développement des infrastructures urbaines.

Le périmètre OFS des agglomérations n'a cependant aucune valeur d'obligation légale, car il ne suffit pas à un espace urbain d'être intégré au périmètre défini pour obtenir des financements. Le périmètre peut par exemple être adapté en fonction des spécificités locales (Fig I.11) et l'utilité des mesures doit surtout être démontrée par les responsables du projet d'agglomération.

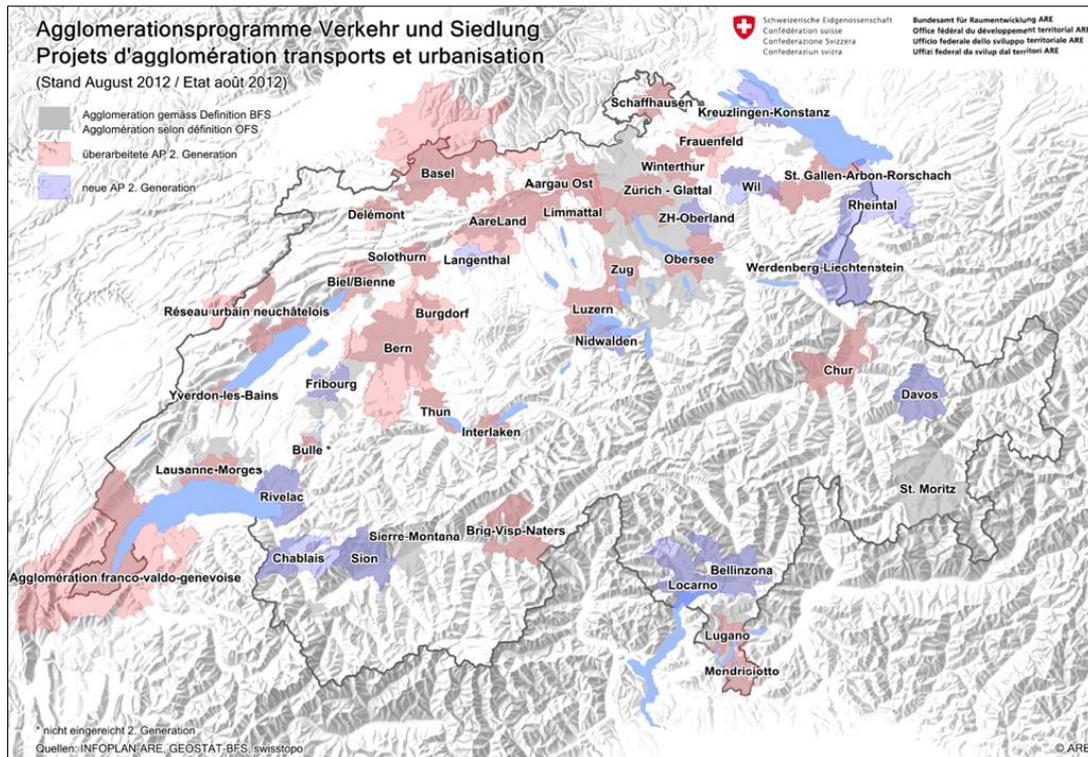


Figure I.11. Définition OFS (en gris) et projets d'agglomération (en rouge et bleu)

(source : ARE, 2012)

I.4.2 Enjeux du renouvellement des définitions

Longtemps utilisées uniquement par les scientifiques, les définitions urbaines de l'OFS ont pris aujourd'hui une dimension politique avec la politique des agglomérations (ARE, 2001). Conséquence à cela, les définitions sont davantage soumises à la critique populaire, notamment en raison de l'opacité qui règne autour des critères choisis. De plus, la pertinence de ces critères à mettre en lumière les rapports fonctionnels de l'espace, fait l'objet d'interrogations dans le monde scientifique (OFS, 2007). Ajouté à ces critiques, le nouveau recensement de la population (OFS, 2011), entré en vigueur en 2010, soulève des questions quant à la disponibilité future des données, en particulier pour les flux de pendulaires, qui représentent l'information de base pour les critères fonctionnels des définitions des villes. Pour faire face à ces enjeux, l'OFS a lancé en 2006 le projet AggloSuisse afin de renouveler la définition des espaces urbains.

I.4.2.1 Définitions actuelles : Forces et faiblesses

Les définitions OFS ont d'abord permis aux décideurs politiques et à la population de se faire une idée de la réalité urbaine du pays dans une Suisse caractérisée par une société majoritairement urbaine mais dont les paysages renvoient encore une image fortement rurale. Elles représentent ainsi un argument pertinent au sein du débat politique concernant l'aménagement du territoire et un cadre de référence indispensable pour des coopérations intercommunales (OFS, 2007).

Cependant, la limite nette entre espace urbain et non-urbain, sans différenciation des espaces internes des agglomérations (centre, couronne suburbaine, couronne périurbaine), présente une image trop simpliste de l'occupation du sol. Dès lors, il peut être difficile pour une commune de comprendre pourquoi elle fait partie de l'*agglomération* alors que sa voisine est considérée comme rurale. Une situation accentuée par le fait que les communes ont parfois du mal à s'y retrouver tant la méthodologie multicritère est abstraite et difficilement communicable (OFS, 2007).

Concernant le choix des critères, il semble judicieux d'utiliser à la fois des critères morphologiques et fonctionnels (OFS, 2007). D'abord car cela permet de prendre en compte des aspects différents, mais tout à fait complémentaires de la réalité urbaine, mais également dans un but comparatif étant donné que de nombreux pays européens appliquent cette méthode. En revanche, le fait de limiter les relations fonctionnelles aux liaisons domicile-travail des individus a pour effet de négliger les flux de biens ou d'informations existant entre les entreprises ou les individus (OFS, 2007).

La définition actuelle est également critiquée en raison du trop grand nombre d'agglomérations de petite taille résultant de la méthode. D'un côté, le nombre de 50 agglomérations ne correspond pas à la perception de la population suisse, et d'autre part ces résultats sont difficilement comparables à l'échelle internationale (OFS, 2007).

1.4.2.2 Projet AggloSuisse : Besoins et possibilités

L'objectif du projet AggloSuisse est de développer une nouvelle définition statistique des espaces urbains qui soit scientifiquement fondée, applicable à toute la Suisse et qui permette de répondre aux besoins de l'administration, des milieux politiques et de la communauté scientifique (OFS, 2013).

Pour faire face à ces enjeux, la nouvelle définition se doit de répondre aux faiblesses de la définition précédente, en intégrant une différenciation entre les espaces intra-urbains (centre, suburbain, périurbain) et en créant différents groupes d'agglomération en fonction de leur taille. Ces deux aspects sont notamment adoptés dans la définition des *aires urbaines* françaises (INSEE, 2010), et l'OFS s'inspire de plus en plus des « bonnes » pratiques de ses voisins européens.

Intégrer les problématiques urbaines nouvelles est donc une nécessité, autour du concept de polycentrisme et en imaginant des agglomérations plus seulement polarisées par une ville-centre, mais également polarisées par plusieurs centralités secondaires. Dans cette optique, la représentation des relations fonctionnelles est indispensable. Pourtant, le nouveau recensement de la population (OFS, 2011), fondé sur un relevé des registres administratifs, ne permet plus d'obtenir, comme c'était le cas auparavant, des données exhaustives sur la pendularité. Ces données ne seront à l'avenir disponibles que partiellement grâce à des micro-recensements, des relevés structurels ou des enquêtes thématiques (OFS, 2007 ; OFS, 2011).

Pour répondre à ces défis, il peut être intéressant d'imaginer une alternative aux données des pendulaires en intégrant à la définition des nouvelles données, qui pourraient permettre de représenter de manière similaire les interactions entre les espaces.

1.4.2.3 Vers de nouvelles définitions ?

Les possibilités ouvertes par les nouvelles données disponibles et les nouvelles approches scientifiques développées récemment permettent d'imaginer de nouvelles perspectives dans l'analyse des phénomènes urbains, et *a fortiori*, dans la délimitation des villes.

L'exploitation de ces apports informationnel et cognitif permettrait de combler, d'une part, le manque constaté dans les données d'interactions, et d'améliorer, d'autre part, certaines faiblesses constatées dans les définitions actuelles des villes.

II Pour de nouvelles délimitations des villes en Suisse

Le but de ce travail est d'explorer les nouvelles données et les nouvelles approches à disposition pour délimiter les espaces urbains en Suisse. Il s'agit surtout d'évaluer les capacités de ces nouvelles données et approches, à intégrer une vision contemporaine de la ville, soit un espace que l'on suppose caractérisé par une structure polycentrique.

L'objectif n'est pas tant de produire une définition statistique précise des villes, mais plutôt d'explorer les perspectives offertes par les nouveaux apports informationnels et cognitifs, puis de comparer les résultats issus de ces analyses avec les résultats précédents issus de données et d'approches plus traditionnelles des délimitations des régions urbaines.

II-1 Construire de nouvelles délimitations des régions urbaines

En construisant de nouvelles délimitations des régions urbaines suisses, on revisite des questions fondamentales concernant les villes, leur essence et leurs dynamiques. La *région urbaine*, qui fait d'abord référence à la sphère d'influence exercée par la ville sur sa périphérie, définit un espace urbain fonctionnel traversé par des interactions à la fois matérielles, d'échanges de biens ou de rencontres, mais aussi immatérielles, de flux d'informations et de communications. Au sein de cette espace des flux, les réseaux se caractérisent par leur forte densité, leur intensité et leur structure polycentrique. Une structure complexe issue d'un processus de maximisation des interactions et dont la résultante matérielle s'observe par l'émergence de véritables centralités urbaines secondaires. Toutefois, par son extension géographique et ses frontières imperceptibles sur le territoire, la *région urbaine* est une entité dont les contours restent difficiles à délimiter.

En se basant sur la communication des individus à travers leurs interactions téléphoniques, l'approche choisie dans le cadre de ce travail pour délimiter les régions urbaines ne correspond pas seulement à des « données disponibles », mais reflète avant tout la société urbaine contemporaine, ses actions et interactions.

Cette approche novatrice s'intègre de façon idéale au cadre théorique des délimitations des régions urbaines. Évaluer les contributions de l'approche en l'appliquant de manière empirique sur les villes suisses constitue l'objectif principal de ce travail.

II.1.1 Cadre théorique : les délimitations des régions urbaines

Quelles sont les spécificités des délimitations des régions urbaines réalisées grâce à des flux téléphoniques et une approche réseau ? Peut-on y voir des correspondances avec les délimitations actuelles basées sur les flux de migrations pendulaires (définition de l'OFS) ?

Quelles peuvent être les contributions des données téléphoniques pour de telles délimitations ? Et quelles sont les limites à l'utilisation de telles données ?

Hypothèse générale : Une délimitation basée sur les interactions de téléphonie fixe et traitées selon des méthodes de la théorie des graphes devrait permettre d'exprimer de manière fidèle la conception contemporaine de la ville basée sur le polycentrisme ainsi que la forte densité des interactions.

II.1.2 Cadre empirique : contexte de renouvellement des définitions suisses

A la suite de ce questionnement général, on peut préciser la manière dont nous testerons la pertinence de cette nouvelle approche, en répondant à des questions plus ciblées :

- Quelles sont les structures spatiales qui se dégagent des données téléphoniques et quelles sont leurs spécificités en comparaison des données des pendulaires ?
- Quelles peuvent être les avantages de l'utilisation et de l'accès à de telles données dans le contexte de renouvellement des définitions urbaines ?

Hypothèse 1: Les bassins de vie révélés par les flux téléphoniques coïncident en grande partie avec les bassins d'emplois obtenus grâce aux flux pendulaires.

Hypothèse 2: Les données téléphoniques peuvent apporter une information complémentaire sur les interactions entre les espaces, notamment concernant les relations transversales entre pôles secondaires : avec des flux moins centralisés que les pendulaires, les données téléphoniques permettent de mieux caractériser la structure polycentrique des régions urbaines suisses.

Hypothèse 3: Les données téléphoniques permettent de distinguer des structures et des centralités variées selon les périodes du jour (jour-nuit) et selon les saisonnalités (semaines ordinaires- vacances).

II-2 Zone d'étude

Afin d'explorer ces différents questionnements, nous allons opérer un test approfondi sur le territoire du canton de Vaud, qui se situe dans la partie francophone au Sud-ouest de la Suisse, et pour lequel nous avons pu avoir à disposition les données nécessaires.

Le canton de Vaud est le troisième canton le plus peuplé de Suisse derrière Zürich et Berne avec près de 730'000 habitants en 2012 et il détient le quatrième rang en terme de superficie avec 3'213 km² (SCRIS, 2012). A l'échelle suisse, le canton est donc relativement important, d'autant plus qu'on y recense cinq agglomérations urbaines dont Lausanne et Yverdon-les-Bains qui se situent toutes deux entièrement sur territoire vaudois (selon définition OFS 2000). Les autres agglomérations (Genève, Montreux-Vevey, Monthey-Aigle) sont partagées avec les cantons voisins de Genève, de Fribourg et du Valais.

En l'an 2000, les trois-quarts des habitants du canton vivaient dans ces cinq zones urbaines. Le territoire est donc passablement urbanisé et a surtout l'avantage d'intégrer complètement l'agglomération de Lausanne qui occupe le cinquième rang des agglomérations Suisse avec une population résidente de 311'400 en 2000 (48,6% de la population vaudoise). L'agglomération se situe au centre de la bordure sud du canton, elle est donc limitée au Sud par les rives du lac Léman. Par cette situation privilégiée, nous partons donc du principe d'être en mesure de pouvoir délimiter, dans le cadre de cette étude, la région urbaine de Lausanne dans son ensemble qui constituera donc la « zone-test » de la nouvelle approche.

II-3 Méthodologie réseau appliquée aux échanges téléphoniques

L'objectif est d'analyser l'ensemble des relations téléphoniques du Canton de Vaud et de produire des délimitations urbaines en adoptant une approche « réseau », une approche qui s'inscrit dans le cadre conceptuel de la théorie des réseaux sociaux et dont l'analyse se base sur des méthodes de la théorie des graphes. Cette approche, conciliée à une masse de données importantes, nécessite par ailleurs des outils informatiques performants pour permettre le traitement, l'analyse et la visualisation des données.

II.3.1 Evaluations et approches réseaux

L'approche « réseau » permet de modéliser les interactions territoriales en représentant les communes par des « nœuds » et les différents échanges téléphoniques ou pendulaires entre les communes par des « liens ». Cette représentation en « réseau » permet à la fois d'analyser de manière quantitative l'ensemble des interactions existantes sur un territoire, mais elle permet aussi une analyse plus qualitative grâce aux méthodes de visualisation des graphes.

Le « réseau téléphonique » se caractérise par des densités de communications variables entre les communes, par des liens téléphoniques forts ou des liens téléphoniques faibles connectant les différentes communes entre elles. L'analyse du « réseau » téléphoniques entre les communes du canton de Vaud doit donc permettre d'abord de mettre en évidence les liens préférentiels existants entre les communes et de distinguer de cette manière différents espaces sociaux-économiques.

Ajouté à cela, une approche similaire du « réseau pendulaire » doit permettre de comparer les espaces « téléphoniques » et les espaces « pendulaires » qui caractérisent les deux réseaux.

II.3.2 Produire des délimitations urbaines à partir d'approches réseaux

Il n'existe pas de marche à suivre clairement établie pour délimiter des régions urbaines par une approche réseau. Il s'agira donc d'explorer certaines propriétés des réseaux telles que leurs densités majeures, leurs centralités principales, ou leurs communautés de relations préférentielles.

« Partitionner » un graphe en plusieurs communautés permet en effet de découper un réseau et d'en dessiner ensuite les frontières géographiques précises. Cette manière de procéder offre ainsi la possibilité d'identifier des zones d'influences urbaines ou des bassins fonctionnels, puis de réaliser des comparaisons entre les résultats obtenus sur les réseaux téléphoniques et pendulaires. Ajouté à cela, l'approche réseau permet d'analyser la centralité des communes dans un graphe en mobilisant des indices statistiques développés en science des réseaux. Un outil qui offre une possibilité supplémentaire de comparer les propriétés des réseaux téléphoniques et pendulaires.

II.3.3 Présentation des données

Cette section a pour objectif de présenter les données mobilisées dans le cadre de ce travail, leur provenance, leur structure, leur contenu, afin d'exposer leur richesse, mais aussi leurs limites par rapport aux objectifs d'identification des régions urbaines.

II.3.3.1 Données téléphoniques

Les données téléphoniques proviennent de la compagnie *Swisscom* qui détient en Suisse près de 70% du marché de la téléphonie fixe et 62% du marché mobile (ComCom, 2012). Les deux principaux concurrents de la compagnie *Swisscom* sur le marché du fixe sont les opérateurs *Sunrise* (13% de part de marché) et *Cablecom* (11% de part de marché). Concernant le marché mobile, la concurrence est formée par *Sunrise* (21 % de part de marché) et *Orange* (17% de part de marché).

Pour cette étude, *Swisscom* a accepté de nous mettre à disposition des données concernant la téléphonie fixe. Depuis dix ans, le marché du fixe connaît un recul constant en raison de la croissance continue de la téléphonie mobile. La Commission fédérale de la communication (ComCom) enregistre une diminution de 23% des raccordements entre 2002 et 2012, ainsi qu'une diminution du nombre (-2.3%) et de la durée des communications (-7.6%) sur l'ensemble du réseau fixe. Toutefois, selon la ComCom, la téléphonie fixe ne devrait pas disparaître au profit du tout mobile, mais est amenée à évoluer vers une téléphonie numérique qui devrait remplacer la téléphonie traditionnelle. Travailler à partir de données de téléphonie fixe fait donc encore sens à l'heure actuelle malgré le ralentissement du marché constaté ces dernières années. De plus, il aurait été possible de disposer de données concernant les communications mobiles mais sans toutefois connaître la localisation de l'individu au moment de l'appel car seule l'adresse de facturation des appels (domicile des abonnés) est fournie par l'opérateur. Travailler avec des données mobiles localisées au domicile comporte moins d'intérêt que de travailler avec des données fixes pour lesquels l'adresse de facturation constitue *a priori* la localisation exacte de l'appareil au moment de l'appel.

II.3.3.1.a Construction de la base de données

La structure des données mises à disposition par *Swisscom* a été négociée par l'IGD-UNIL. Il s'agissait de trouver le moyen d'accéder aux données localisées dans le canton de Vaud, tout en préservant l'anonymat des abonnés.

Avant de nous fournir le jeu de données, *Swisscom* a donc préalablement effectué des recherches multicritères sur ses bases de données dans le but de rassembler l'information nécessaire (Fig II.1). La démarche s'est ainsi focalisée sur les communications vocales transmises d'un appareil fixe « A » vers un appareil fixe « B » et pour lesquels les deux appareils ont souscrit un abonnement « *Swisscom* FIXNET ». Cela signifie que les communications reçues ou à destination d'un appareil

dépendant d'un autre opérateur ne sont pas comptabilisées, un critère qui n'entache pas *a priori* la pertinence de la représentativité de l'étude, tant la part de marché de l'opérateur *Swisscom* est élevée (70%). Il faut également souligner que les localisations des deux appareils « A » et « B » se fait aux adresses de facturation des deux abonnés communiquant. Ce sont donc des données à l'origine individuelles qui ont été agrégées par commune afin de préserver l'anonymat des individus et de simplifier la structure de la base de données.

Concernant encore la localisation des appels, seules les communications réalisées entre des lieux localisés dans le canton de Vaud ont été retenues, les communications inter-cantoniales et internationales ne sont donc pas prises en considération. Le canton de Vaud est par conséquent considéré comme un territoire insulaire sans relations avec ces voisins. Un critère qui a sans doute pour effet de diminuer la masse de communications des communes contigües à des cantons voisins et pour lesquels les relations avec des communes non-vaudoises représenteraient certainement une part significative de leur communication.

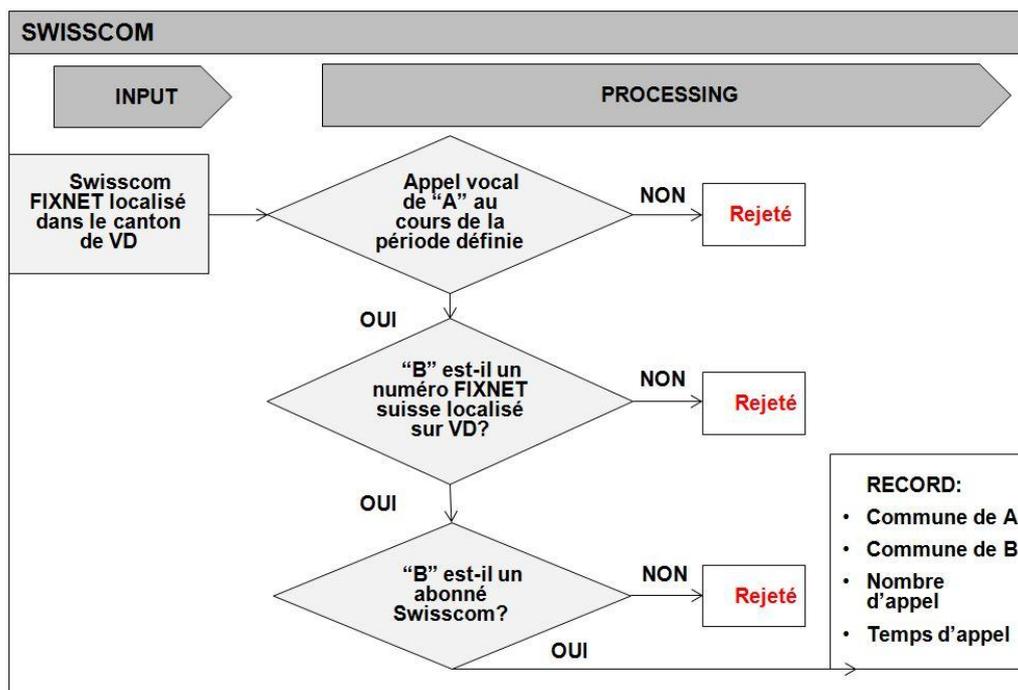


Figure II.1 Critères définis par *Swisscom* pour la construction de la base de données

(source : *Swisscom*, 2012)

Les différents critères ont été appliqués par *Swisscom* sur une période de 3 mois (octobre, novembre et décembre 2012). Le fichier de données obtenu se compose d'une matrice origine-destination contenant le « nombre » d'appels total ainsi que la « durée » totale des appels entre les communes. Au cours de cette période, on enregistre ainsi un total d'environ 4'700'000 appels pour une durée d'environ 525'000 heures de conversation.

Lieu A	Lieu B Commune Aigle	Commune Giez	...	Commune Ollon
Commune Aigle	Nbre d'appel ; Temps d'appel			
Commune Giez		Nbre d'appel ; Temps d'appel		
.....			Nbre d'appel ; Temps d'appel	
Commune Ollon				Nbre d'appel ; Temps d'appel

Figure II.2. Format de la matrice origine-destination

Pour avoir la possibilité de produire des analyses, à la fois dans l'espace géographique, mais aussi dans le temps, *Swisscom* a pu nous fournir ces matrices intercommunales ventilées par date et par période journalière (0-6h, 6-12h, 12-18h, 18-24h). Ces découpages temporels offrent ainsi la possibilité d'analyser la distribution géographique des flux et des centralités selon les 92 jours de communications à disposition et les différents moments de la journée.

II.3.3.1.b Structure des données dans le temps

L'objectif est ici de présenter comment se structurent les données jour par jour afin de mieux savoir comment exploiter cette propriété dans le cadre des analyses de flux et des analyses réseaux.

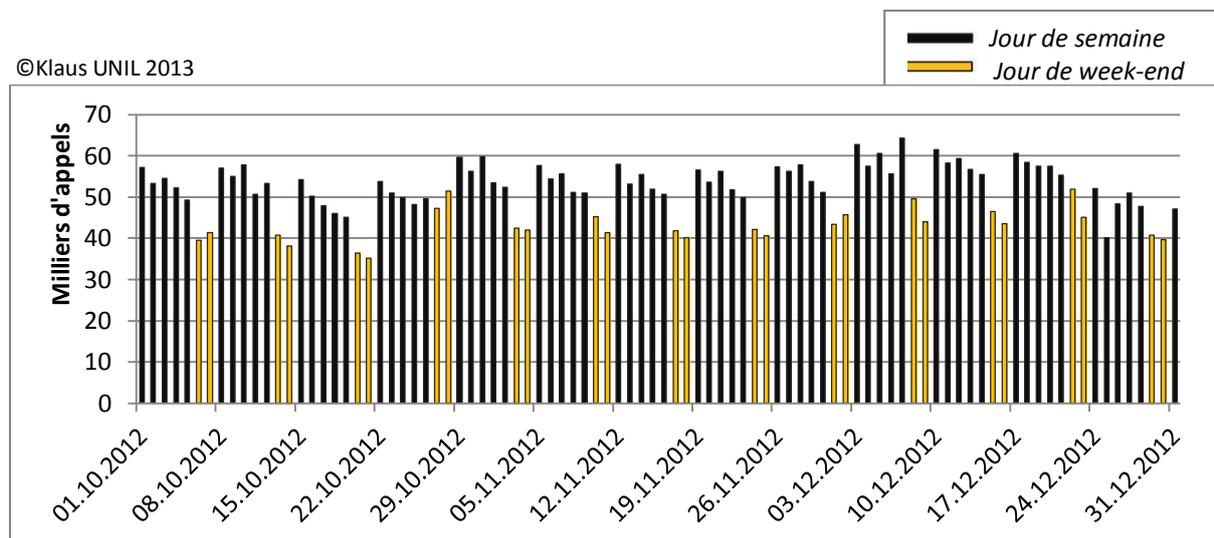


Figure II.3. Nombre d'appels par jour pendant les mois d'octobre, novembre et décembre 2012

En observant l'ensemble de la période du 1^e octobre au 31 décembre 2012 (figure II.3), le découpage journalier laisse clairement apparaître une périodicité hebdomadaire des communications, avec un nombre d'appels plus élevés pendant les jours de semaine et bien plus faibles lors des week-ends (à

l'exception du week-end du 27/28 octobre). De manière générale, on observe également une décroissance du nombre d'appels au cours de la semaine.

Le mois de décembre enregistre une activité téléphonique de 3,6% d'appels et 5% de temps de conversation supérieurs aux moyennes respectives calculées sur 3 mois. On distingue toutefois sur la figure II.3 que ce sont surtout les trois premières semaines du mois (du 4.12 au 24.12) qui sont responsables de cette augmentation. Une hausse qui pourrait s'expliquer par une activité économique et sociale supérieure, notamment en raison des fêtes de fin d'année. La dernière semaine de décembre enregistre en revanche nettement moins d'appels, sans doute en raison d'une activité professionnelle ralentie par les départs en vacances et les jours fériés.

Ces premières observations mettent en évidence la dynamique temporelle qui se cache au sein des données téléphoniques : semaines, week-ends et périodes de vacances dégagent des dynamiques variées qu'il est nécessaire de différencier.

S'agissant de la structure journalière des communications (Fig. II.4), la tranche horaire nocturne 0-6 heures concentre une part négligeable des appels avec seulement 0.2% de l'activité téléphonique totale. La quasi-totalité des communications se répartit donc entre 6h et 24h, trois tranches horaires pour lesquelles on observe des variations entre le nombre et la durée des appels. En effet, en proportion du nombre d'appel, la tranche horaire 18-24 heures est la période la moins active des trois (29.7%), mais elle est la période la plus active si l'on se réfère à la durée totale des appels (38.3%). En soirée les appels sont donc moins fréquents mais plus longs, alors qu'en cours de journée ils sont plus fréquents mais plus courts.

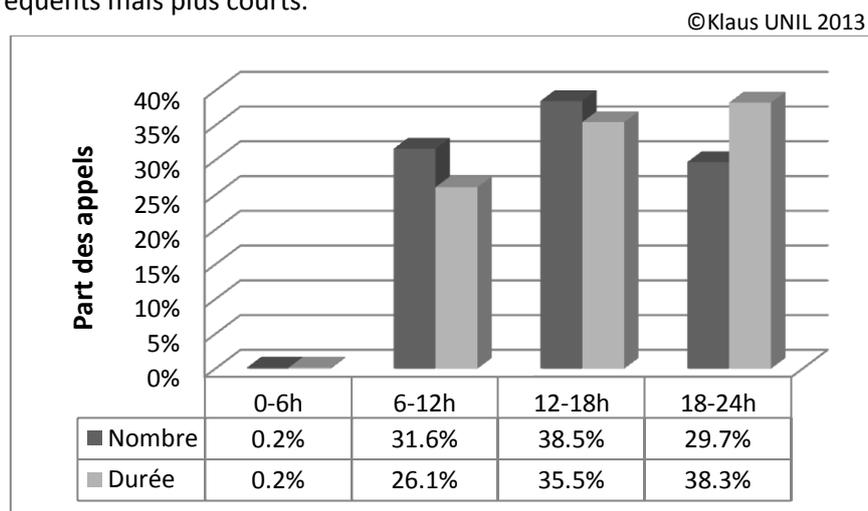


Figure II.4. Structure journalière moyenne des appels sur 3 mois (nombre et durée totale des appels)

Cette variation journalière entre le nombre et la durée des appels pourrait être le reflet de différences entre une période consacrée au travail, la tranche horaire 6-18h, et une période

davantage consacrée aux relations sociales extraprofessionnelles, la tranche horaire 18-24h, et pour laquelle la durée des conversations joue un rôle plus important pour le lien social entre individus.

Par ces analyses sur la structure des données dans le temps, qu'il s'agisse de périodes hebdomadaires (Fig II.3) ou journalières (Fig II.4), il semble évident qu'il se dégage une certaine variation temporelle dans les communications téléphoniques. Afin d'exploiter cette caractéristique pour observer des évolutions quant à la distribution géographique des flux et des centralités au cours du temps, nous proposons de créer des classes regroupant les périodes de communications en fonction de leur ressemblance.

II.3.3.1.c Construction de classes de périodes de communication

La construction de classes de périodes de communication se base sur les analyses réalisées sur la structure des données dans le temps. Les observations précédentes ont donc conduit à la création de 5 classes (Tab. II.1) qui ont chacune pour but de caractériser des aspects différents de l'activité humaine au cours du temps.

©Klaus UNIL 2013

Période de communication	Nombre moyen d'appels par heures	Ecart à la moyenne sur 3 mois	Temps moyen de conversation par heures	Ecart à la moyenne sur 3 mois
Semaine	2323	+9%	254 heures	+8%
Week-end	1796	-15%	217 heures	-8%
Vacances de Noël	1933	-9%	210 heures	-11%
Horaire de journée	3209	+51%	303 heures	+28%
Horaire de soirée	2662	+35%	411heures	+74%
Moyenne sur 3 mois	2122	0%	236 heures	0%

Tableau II.1. Statistiques moyennes des périodes de communication

- **Semaine** : cette classe comprend l'ensemble des communications effectuées du lundi 0h au vendredi 24h entre le 1^e octobre et le 21 décembre 2012 (excepté du 13.10 au 28.10, période de vacances).

Caractéristiques : période de travail pour la plupart des individus en emploi. L'activité téléphonique est supérieure à la moyenne sur 3 mois (+9 en nombre ; +8% en durée), reflet de l'activité professionnelle qui caractérise la période.
- **Week-end** : cette classe comprend l'ensemble des communications effectuées du samedi 0h au dimanche 24h entre le 1^e octobre et le 21 décembre 2012 (excepté du 13.10 au 28.10, période de vacances).

Caractéristiques : période de repos et de loisir pour la plupart des individus. L'activité téléphonique est inférieure à la moyenne sur 3 mois (-15% en nombre ; -8% en durée). On observe par contre une activité nocturne (0-6h) supérieure à la moyenne de cette tranche horaire sur 3 mois (+30% en nombre ; +39 en durée).

- **Vacances de Noël** : cette classe comprend l'ensemble des communications effectuées du samedi 22 décembre au lundi 31 janvier 2012.

Caractéristiques : période de vacances pour une grande partie de la population. L'activité téléphonique est inférieure à la moyenne sur 3 mois (-9% en nombre ; -11% en durée). On observe par contre une activité nocturne entre 0 et 6 heures supérieure à la moyenne de cette tranche horaire sur 3 mois (+69% en nombre ; +44% en durée) reflétant ainsi le caractère festif de cette période.

- **Horaire de journée** : cette classe comprend l'ensemble des communications effectuées du lundi au vendredi entre 6h et 18h du 1^e octobre au 21 décembre 2012 (excepté du 13.10 au 28.10, période de vacances).

Caractéristiques : Horaire de travail pour une grande partie de la population active. L'activité téléphonique en termes de nombre d'appels est soutenue comparé aux horaires de soirées.

- **Horaire de soirée** : cette classe comprend l'ensemble des communications effectuées du lundi au vendredi entre 18h et 24h du 1^e octobre au 21 décembre 2012 (excepté du 13.10 au 28.10, période de vacances).

Caractéristiques : Horaire de soirée pour une grande partie de la population active. L'activité téléphonique en termes de temps d'appel est soutenue comparé aux horaires de journée.

Les classes sont construites à partir des données à disposition sur les 3 mois, à l'exception de la période des vacances scolaires d'automne qui s'est déroulée dans le canton de Vaud du samedi 13 octobre au dimanche 28 octobre. La raison de ce choix provient de la difficulté à classer cette période comme une période orientée « vacances » ou comme une période orientée « travail ». Au final, seules les vacances de Noël sont donc considérées comme une période de vacances et les communications des vacances d'automne ont été exclues de la classification.

II.3.3.2 Données pendulaires

Le terme de « pendulaire » désigne, selon l'OFS, « toute personne âgée de 15 ans ou plus, qui exerce une activité lucrative et qui quitte son domicile pour se rendre au travail, soit dans la même commune, soit dans une autre. Seules les personnes actives occupées six heures par semaine au moins entrent dans la définition des pendulaires » (Frick et al., 2004, p.15). On distingue les pendulaires intra-communales, dont le lieu de travail se situe dans la même commune que le domicile, des pendulaires intercommunales qui se déplacent en dehors de leur commune de domicile.

A l'échelle communale, les statistiques des pendulaires les plus récentes sont issues du recensement fédéral réalisé en 2000 par l'OFS. Dans le cadre de ce travail, seules les interactions pendulaires situées à l'intérieur du canton de Vaud sont prises en considération afin de pouvoir comparer cet indicateur avec les données téléphoniques. Pour réaliser cette comparaison, il a également été nécessaire d'agréger les statistiques des pendulaires des communes ont fusionné entre 2000 et 2012. En effet, le canton de Vaud a vu son nombre de communes diminuer de 384 communes en 2000 à 326 communes en 2012 soit 58 communes qui ont disparu.

Pour les données de migrations pendulaires intercommunales, à l'instar des données téléphoniques, la matrice origine-destination à disposition enregistre les mouvements pendulaires des 254'663 individus qui se déplacent quotidiennement à l'intérieur du maillage administratif communale du canton de Vaud.

	Commune Aigle	Commune Giez	Commune Ollon
Commune Aigle	Nbre pendulaires			
Commune Giez		Nbre pendulaires		
....			...	
Commune Ollon				Nbre pendulaires

Figure II.5. Format de la matrice origine-destination

III Analyse exploratoire et comparative des données téléphoniques et pendulaires du canton de Vaud

Pour analyser les données téléphoniques du canton de Vaud, l'idée est d'adopter une approche comparative en les confrontant aux données issues des migrations pendulaires. Une approche qui doit permettre de dégager les spécificités intrinsèques des deux types de données, mais aussi de mettre en évidence leurs caractéristiques communes. Ajouté à cela, les données téléphoniques feront l'objet d'une analyse approfondie par la comparaison des données contenues dans les différentes périodes de communications.

L'analyse exploratoire et comparative des données du canton de Vaud se déroulera en deux phases :

1. En analysant, dans une première partie, la distribution des interactions téléphoniques et pendulaires dans l' « espace géographique » communal.
2. Puis en analysant, dans une seconde partie, les interactions dans l' « espace des flux » en adoptant une approche « réseau » par laquelle il s'agit d'aller au-delà des espaces géographiques communaux.

Ses deux parties analytiques font notamment appel à des méthodes de visualisation différentes pouvant amener des informations complémentaires sur les données. En effet, alors que la première partie se base sur des représentations cartographiques standards (distances géographiques), la partie « réseau » recourt à une visualisation par des graphes caractérisée par des distances « topologiques » (distances au sein du réseau).

III-1 L'espace géographique : distribution des interactions téléphoniques et pendulaires

L'objectif est ici d'analyser la distribution géographique des flux inter- et intra-communaux téléphoniques et pendulaires dans le canton de Vaud et plus particulièrement autour de Lausanne, puis de les comparer afin de mettre en évidence d'éventuelles distorsions spatiales. Pour ce faire, il s'agit de travailler à partir des informations contenues sur les marges des matrices origine-destination. Celles-ci permettent en effet de comptabiliser les masses de flux entrants (*in*) et sortants (*out*) pour chaque commune. S'agissant des flux intra-communaux (*loop*), l'information est contenue sur les diagonales des matrices.

III.1.1 Choix méthodologiques

Avant d'aborder les analyses empiriques, il convient de faire brièvement le point sur quelques choix méthodologiques opérés à ce stade de la démarche, sur le choix de l'indicateur de téléphonie retenu et sur la normalisation des distributions statistiques des flux à des fins comparatives.

III.1.1.1 Indicateur de téléphonie

L'analyse de la distribution géographique des flux téléphoniques se concentre ici uniquement sur le « nombre » d'appel plutôt que sur la « durée ». D'une part, il s'agit d'éviter une redondance dans les résultats car les deux indicateurs sont fortement corrélés (Tab III.1).

Type de flux	R
<i>In</i>	0.993
<i>Out</i>	0.993
<i>Loop</i>	0.982

©Klaus UNIL 2013

Tableau III.1. Corrélation (R) entre le LOG du « nombre » et le LOG de la « durée » des appels *in*, *out* et *loop* des communes

Le « nombre » d'appel constitue également une information précise contrairement à la « durée ». En effet, l'écart de temps minimal recensé dans le poids des flux est égal à 0.1 heures, ce qui ne permet pas de transformer l'information « durée » en minute avec une précision exacte, et encore moins en seconde. Le choix du « nombre » d'appel est par conséquent privilégié dans l'approche choisie.

III.1.1.2 Normalisation des distributions statistiques

Les distributions statistiques des masses de flux entrants, sortants et intra-communaux se présentent sous la forme de distributions asymétriques de type « puissance », avec un nombre élevé de communes concernés par des flux de faible quantité et un nombre réduit de communes concernés

par des flux très importants (Fig III.1). Les écarts absolus entre les observations peuvent donc être très grands, ce qui complique l'analyse et la visualisation des distributions statistiques.

Dans ce contexte, la normalisation des distributions statistiques obtenue grâce à une transformation logarithmique des valeurs apporte une solution efficace au problème (Fig III.1). En effet, en montrant les écarts relatifs existants entre les données et non plus les écarts absolus, la distribution log-normale réduit l'asymétrie des distributions, facilitant à la fois la visualisation ainsi que les comparaisons (Bavaud, 1998).

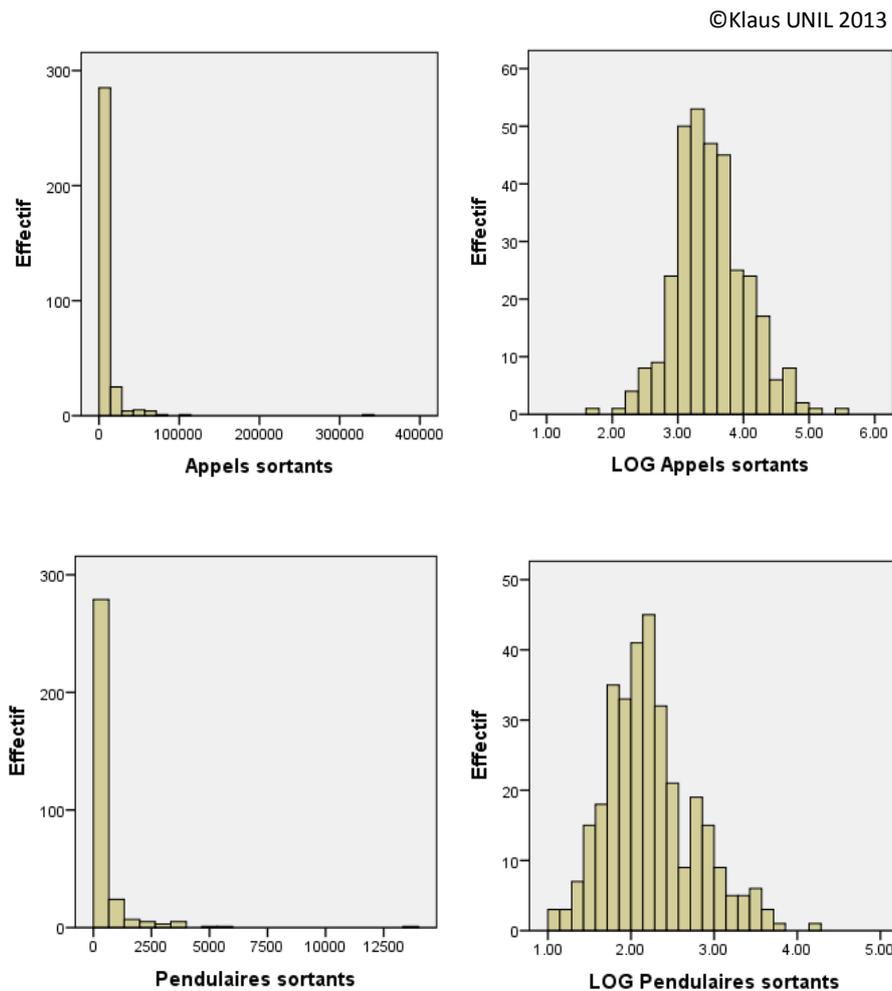


Figure III.1. Distribution des flux sortants des communes avant et après normalisation

La normalisation des distributions permet dès lors de mieux comparer les distributions des flux téléphoniques et des flux pendulaires, d'autant plus que les ordres de grandeurs des distributions non-normalisées diffèrent considérablement comme le démontre le tableau III.2. La moyenne des flux téléphoniques entrants et sortants est en effet environ 20 fois supérieure aux flux pendulaires. La normalisation permet par conséquent une meilleure comparaison des tests statistiques (corrélation, régression linéaire) entre les distributions car l'effet de taille est absent.

	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Moyenne</i>
Appels out	60	342'096	7996
Appels in	80	377'950	7996
Appels loop	1	539'568	6341
Pendulaires out	9	13'990	441
Pendulaires in	0	43'370	441
Pendulaires loop	5	35'585	340

©Klaus UNIL 2013

Tableau III.2. Statistiques descriptives des flux non-normalisés (in, out, loop)

III.1.2 Analyse comparative des flux téléphoniques et pendulaires

Pour analyser et comparer la distribution géographique des flux téléphoniques et pendulaires, l'idée est de procéder en deux phases : tout d'abord analyser les flux inter-communaux (entrants et sortants de chaque commune) puis dans un second temps analyser les flux intra-communaux.

III.1.2.1 Symétrie des flux inter-communaux

On s'intéresse ici aux propriétés de symétrie des flux entrants et sortants par commune. Le tableau des coefficients de corrélation entre les flux (Tab. III.3) témoigne d'une symétrie très forte entre les appels entrants et sortants des communes : le coefficient s'élève en effet à 0,992 quand on considère la totalité des appels sur les 3 mois et il reste très élevé pour les 5 périodes de communication (semaine, Week-end, vacances de Noël, journée ou soirée). Concernant les pendulaires, la corrélation entre les flux entrants et sortants est un peu inférieure avec 0,882. Les flux téléphoniques se distinguent donc légèrement des flux pendulaires par leur symétrie un peu plus prononcée.

<i>Flux in-out</i>	<i>R</i>
Appels (tous)	0.992
Pendulaires	0.882
<i>Périodes de communication</i>	
Semaine	0.991
- Journée	0.990
- Soirée	0.992
Week-end	0.987
Vacances de Noël	0.978

©Klaus UNIL 2013

Tableau III.3. Coefficients de corrélations entre les LOG des flux *in* et *out*

Il s'agit à présent de vérifier cette différence constatée dans la symétrie des flux par la visualisation des flux entrants et sortants pour les deux indicateurs principaux: *Appels (tous)* soit la totalité des appels sur 3 mois, et les *Pendulaires* (Tab III.3).

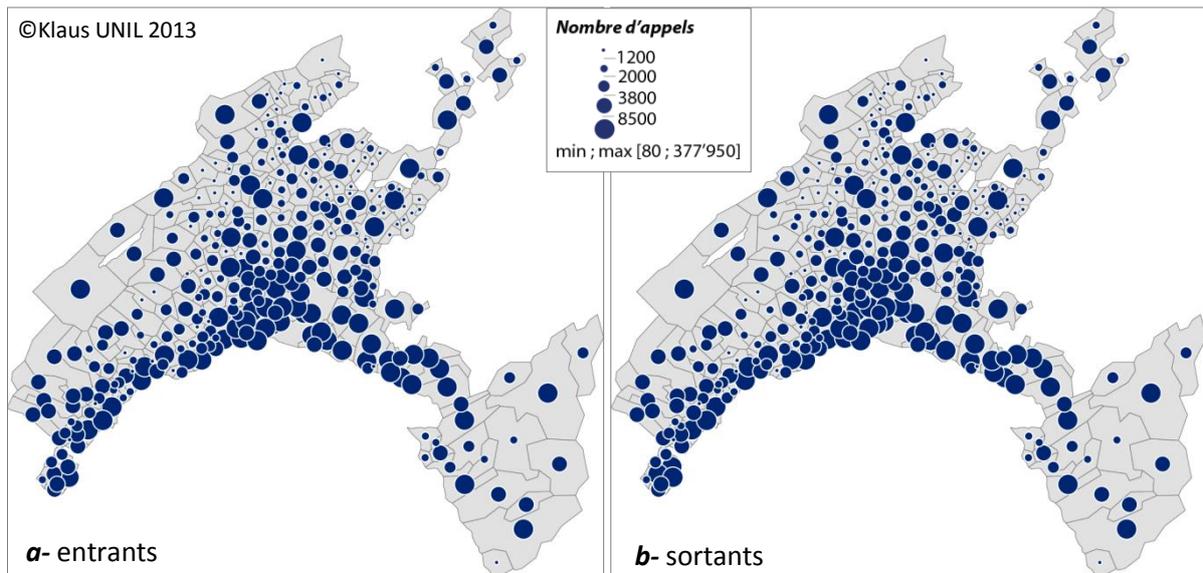
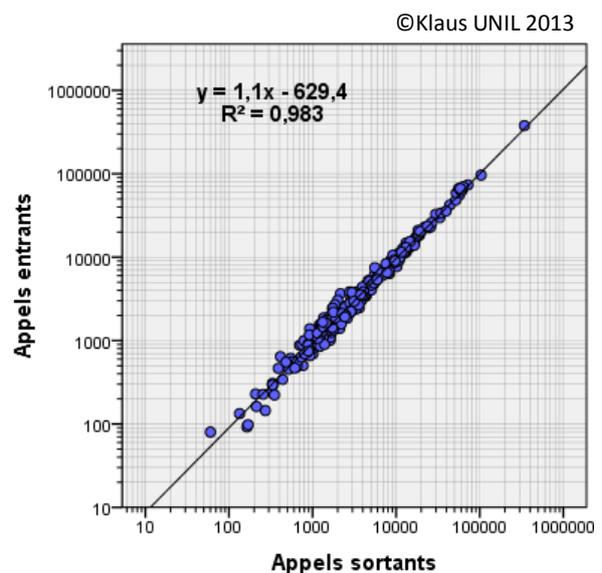


Figure III.2. Nombre total d'appels entrants et sortants par commune sur les 3 mois

La cartographie communale des flux téléphoniques permet de confirmer la forte symétrie existant entre le nombre d'appels entrants et sortants (Fig III.2). Les deux cartes sont en effet à peu près identiques : la distribution des flux semble dans les deux cas caractérisée par un clivage important entre l'arc lémanique et l'arrière pays. Quant à la région lausannoise, elle se distingue clairement par sa masse au centre de la bordure sud du canton. La régularité de la relation entre les appels entrants et sortants se confirme également par la distribution extrêmement linéaire des communes sur la figure III.3. Chaque commune émet ainsi à peu près autant de communications qu'elle en reçoit et aucune d'elle ne se détache vraiment du nuage compact formé par les observations.

Figure III. 3. Relation entre les appels entrants et sortants des communes



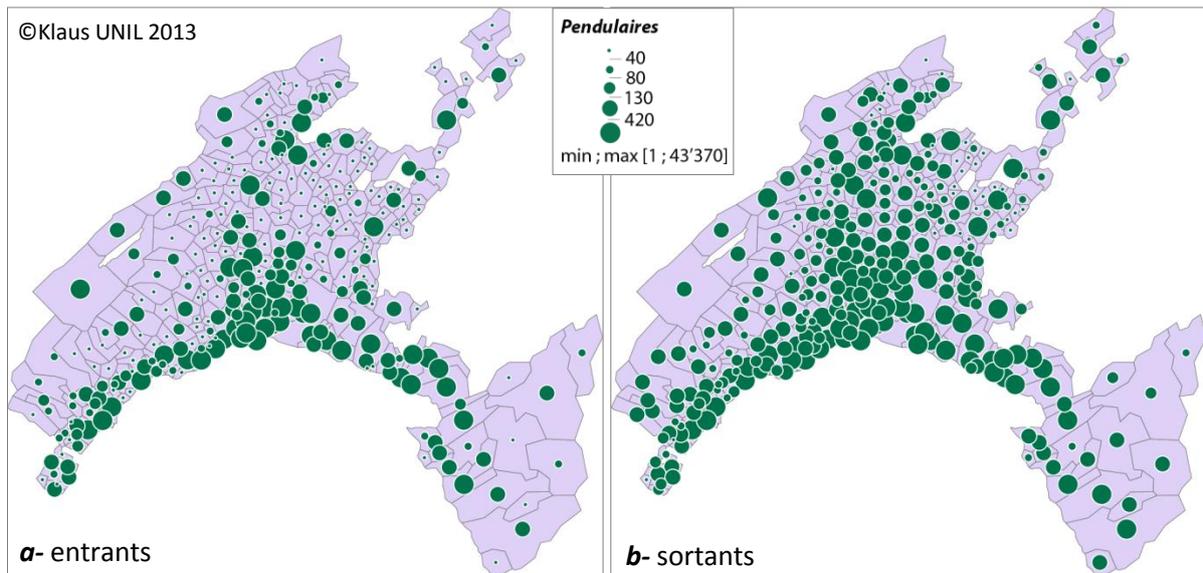
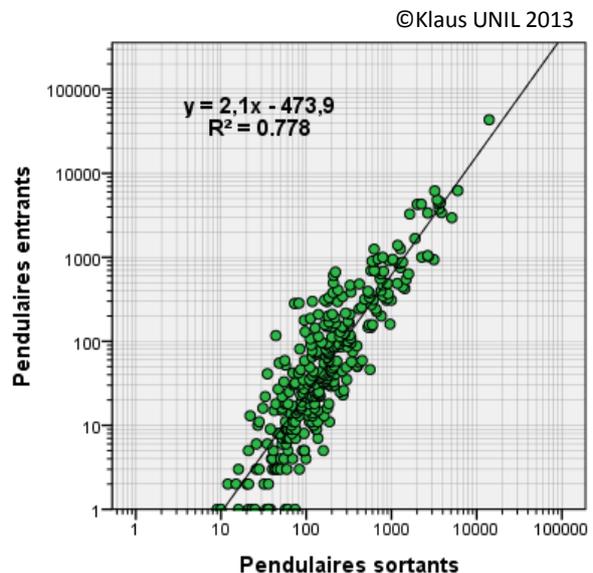


Figure III.4. Nombre de pendulaires entrants et sortants

La visualisation des flux pendulaires confirme la légère asymétrie constatée entre flux entrants et sortants. Contrairement aux flux téléphoniques, les deux cartes (Fig III.4) sont nettement différenciables avec des flux entrants davantage concentrés sur les rives lémaniques, dans la région lausannoise, ainsi que sur l'axe Lausanne-Yverdon. Les flux sortants sont en revanche mieux répartis sur l'ensemble du canton.

Figure III.5. Relation entre les pendulaires entrants et sortants des communes



La relation entre les pendulaires entrants et sortants des communes, qui est mise en évidence par la figure III.5, montre également une distribution bien plus dispersée ($R^2 = 0.778$) que celle des flux téléphoniques ($R^2 = 0.983$). Le nombre de pendulaires quittant une commune peut donc différer assez fortement du nombre de pendulaire venant y travailler. Dans les faits, seules 47 communes possèdent un solde de pendulaires positif, ce sont pour l'essentiel des communes situées à proximité des grands axes de transport routier et ferroviaire sur l'arc lémanique et sur l'axe Yverdon-Lausanne.

Ces relations asymétriques attestent de l'influence des centres d'emploi dans la direction des flux pendulaires entrants. Une observation qui ne concerne cependant pas les flux téléphoniques pour lesquels les pôles d'emplois peuvent autant attirer les communications que les propager.

Afin d'obtenir des précisions sur ces résultats, on peut mettre en relation les variables de flux téléphoniques et pendulaires avec les variables de « population » et d'« emploi » par commune. Une série de régression linéaire a donc été réalisée pour tenter d'expliquer l'influence de la population et de l'emploi sur la variation des flux observés. Les données d'emploi ne sont toutefois pas recensées de manière annuelle. Pour cette raison, l'année 2000 (celle des données pendulaires) et l'année 2012 (celle des données téléphoniques) ne sont malheureusement pas disponibles, celles-ci sont donc remplacées par les années de référence 2001 et 2008.

©Klaus UNIL 2013

Variable dépendante (en log)	Variable explicative (en log)	R ²
Appels Out	Population 2012	0.862
Appels In	Population 2012	0.857
Appels Out	Emplois 2008	0.738
Appels In	Emplois 2008	0.725
Pendulaires Out	Population 2000	0.894
Pendulaires In	Population 2000	0.802
Pendulaires Out	Emplois 2001	0.775
Pendulaires In	Emplois 2001	0.902

Tableau III.4. Résultats des régressions entre les variables dépendantes (flux téléphoniques, flux pendulaires) et explicatives (population, emploi)

D'après les résultats obtenus (Tab III.4), les variables de flux entrants et de flux sortants varient de manière proportionnelle avec la population et l'emploi. En observant les proportions de variance expliquée (R²), on remarque que les appels entrants et sortants conservent des relations symétriques. Les résultats sont en effet à peu près similaires pour les flux *in* et *out* avec ~86% de variance expliquée par la population et ~73% de variance expliquée par l'emploi. La taille de la population communale explique ainsi relativement bien le nombre d'appels entrants et sortants.

Pour les pendulaires, l'influence des centres d'emploi sur l'asymétrie entre les flux entrants et sortants est confirmée. En effet, on remarque que les flux sortants sont mieux expliqués par la taille de la population communale (R² = 89,4%), alors que les flux entrants sont, eux, mieux expliqués par le nombre d'emplois présents dans la commune (90,2%).

III.1.2.2 Flux intra-communaux

S'agissant des flux intra-communaux, près de la moitié des appels et des pendulaires ne franchissent pas le seuil de leur commune (Tab. III.5), à l'exception des communications du week-end pour lesquels la part de flux intra-communaux s'élève étonnamment à 58,7%. Ce chiffre témoigne d'une préférence pour des communications téléphoniques plus locales au cours du week-end, un résultat sans doute en lien avec la diminution des appels professionnels pendant cette période de repos et de loisir.

Flux intra	Part
Appels (tous)	44.2%
Pendulaires	43.6%
Périodes de communication	
Semaine	44.2%
- Journée	45.9%
- Soirée	40.1%
Week-End	58.7%
Vacances	44.0%

©Klaus UNIL 2013

Tableau III.5. Part des flux intra-communaux dans la totalité des flux

Il est tout de même remarquable d'observer une similitude si forte entre les proportions d'appels (44.2%) et de pendulaires (43.6%) intra-communaux, et ce malgré le fait que ces deux indicateurs représentent des formes d'interactions relativement différentes. Ce résultat pourrait être le fait d'un effet semblable de la distance sur les flux téléphoniques et pendulaires, avec pour conséquence une proportion quasi équivalente de flux restant à l'intérieur de chaque maille communale.

III.1.2.3 L'effet de la distance sur les échanges

Lorsqu'il s'agit d'analyser l'échange de flux entre des unités géographiques, la distance représente un paramètre fondamental. Parmi les modèles d'interactions spatiales développés pour prédire les flux dans l'espace, le modèle gravitaire, exprimé comme une analogie à la formule de la gravitation universelle, postule que les échanges F_{ij} entre deux lieux i et j sont directement proportionnels au produit des poids P_i et P_j de ces lieux et inversement proportionnels à la distance D_{ij} qui les sépare (Pumain et al., 2010).

Historiquement, les prémisses de cette loi se retrouvent dans les travaux d'E.G. Ravenstein (1885) étudiant alors les migrations définitives en Angleterre. Bien que ce modèle soit relativement ancien, il reste utile pour expliquer et prévoir certains phénomènes, notamment en matière de planification des transports (Pumain et al., 2010). S'agissant des flux téléphoniques, des études basées sur les communications belges ont mis en évidence la décroissance de l'intensité des communications avec la distance (Blondel et al., 2010). Krings et al. 2009 ont montré empiriquement que le modèle

gravitaire explique encore les échanges de flux téléphoniques entre les villes. Pour les pendulaires, les flux intercommunaux ont également souvent été confrontés au modèle gravitaire, notamment dans le but d'étudier les écarts au modèle afin de mettre en évidence les flux préférentiels et les effets de barrière (Bonney et al., 1996).

L'objectif est ici de réaliser une analyse comparative afin d'observer l'effet de la distance sur les interactions téléphoniques et pendulaires. Ainsi on part du postulat proposé par le modèle gravitaire, en observant l'« intensité des échanges » entre la commune de Lausanne, centralité principal du canton de Vaud, et le reste du territoire vaudois.

$$\text{Intensité des échanges} = \frac{F_{ij}}{P_i * P_j}$$

F_{ij} : Flux téléphoniques ou pendulaires entre i (Lausanne) et j (autre commune)

P_i : Population de Lausanne

P_j : Population de l'autre commune

En mettant en relation cet indicateur calculé pour l'ensemble des communes du canton (excepté Lausanne) avec la distance qui sépare chacune d'elle de la commune de Lausanne, on a la possibilité d'observer l'effet de la distance sur les échanges (Fig III.6). La visualisation des graphes permet d'affirmer que, dans les deux cas, l'intensité des échanges décroît à mesure que l'on s'éloigne de Lausanne. Cette décroissance avec la distance a tendance à s'accroître à partir de 11 km.

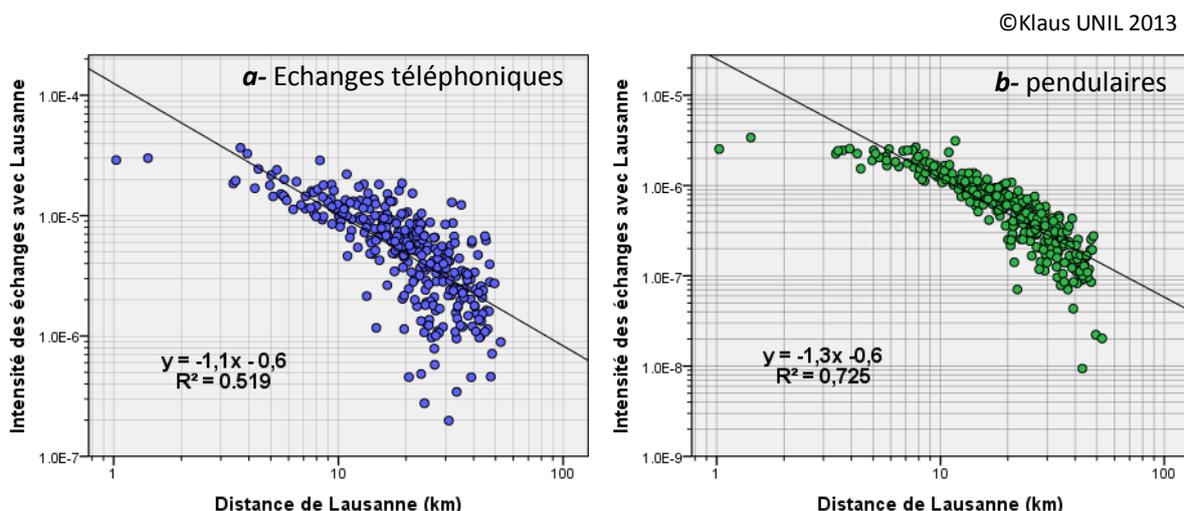


Figure III.6. Relation entre l'intensité des échanges téléphoniques et pendulaires entre Lausanne et les autres communes vaudoise avec la distance qui les sépare

Quand on compare l'effet de la distance sur la décroissance des échanges téléphoniques et des échanges pendulaires, on peut identifier des différences notables. Le frein de la distance est légèrement inférieur pour les échanges téléphoniques avec une pente négative de -1,1 contre -1,3 pour les échanges pendulaires. L'effet de la distance est également moins régulier sur les échanges téléphoniques avec une proportion de variance expliquée (R^2) de 51,9% contre 72,5% pour les échanges pendulaires.

La distance a donc un impact légèrement moindre sur les échanges téléphoniques que sur les pendulaires. Un résultat qui peut logiquement s'expliquer par l'absence de contrainte de déplacement physique lors des communications. A l'inverse, la pendularité implique un déplacement de l'individu par un moyen de transport. L'impact de la distance joue ainsi un rôle plus grand dans le choix des mobilités des individus.

Ces résultats peuvent également s'observer en cartographiant les proportions d'appels téléphoniques et de pendulaires avec Lausanne (Fig III.7). Afin de faciliter la comparaison des deux cartes, la mise en classe des valeurs a été effectuée selon la méthode des quartiles qui permet de comparer 4 classes regroupant un nombre équivalent de communes.

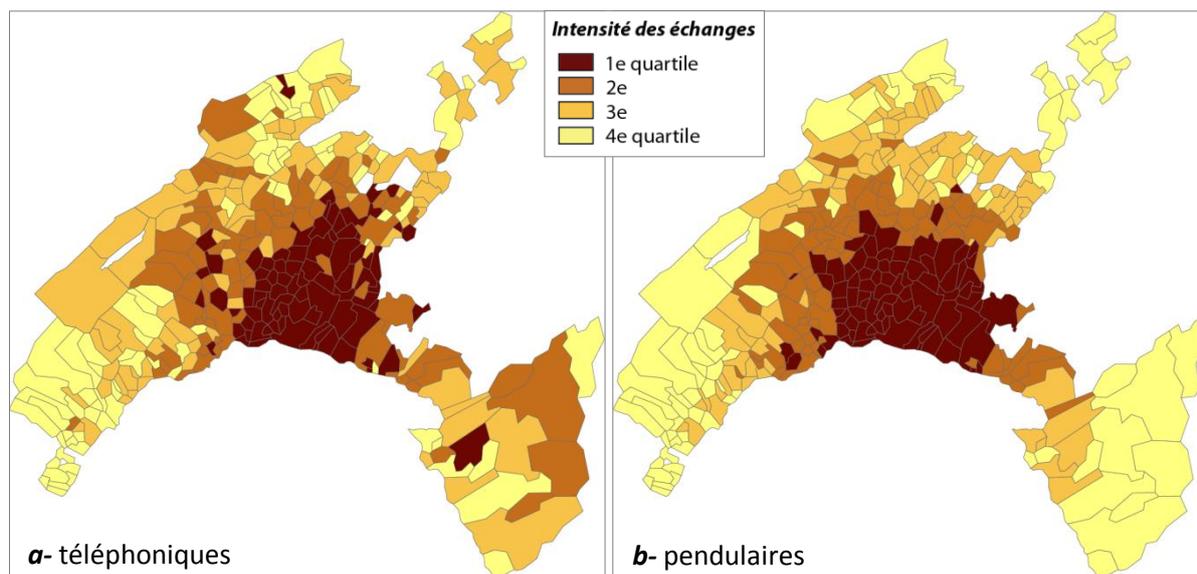


Figure III.7. Intensité des échanges téléphoniques et pendulaires entre Lausanne et les autres communes du canton de Vaud ©Klaus UNIL 2013

Les différences de structures spatiales des deux distributions sont fortement influencées par leur différence de gradient centre-périphérie qui, comme déjà souligné par la figure III.6, est nettement plus marqué pour les pendulaires. Dans le cas des échanges téléphoniques, le gradient est bien visible mais la régularité de la tendance est moins forte, confirmant ainsi un effet moins marqué et plus variable de la distance sur les communications téléphoniques.

On remarque également des disparités géographiques en comparant les deux zones couvertes par les 4^e quartiles, soit les classes qui regroupent les 81 communes possédant les échanges les plus intenses avec Lausanne. L'axe principal des échanges téléphoniques (Fig. III.7(a)) est en effet plutôt orienté vers le nord de Lausanne, alors que l'axe des échanges pendulaires (Fig. III.7(b)) possède une orientation est-ouest plus marquée. Une différence qui pourrait s'expliquer par la structure des réseaux de transport routier et ferroviaire dont les grands axes sont plutôt orientés est-ouest par rapport à la commune de Lausanne.

III.1.2.4 Synthèse de la comparaison

D'un point de vue général, la distribution géographique des flux téléphoniques et des flux pendulaires entrants et sortants des communes, ainsi que des flux intra-communaux, est assez semblable. Les coefficients de corrélation élevés entre les flux (*in*, *out*, *loop*) des deux indicateurs (Tab III.6) témoignent de cette similitude. Celle-ci s'explique par le fait que les indicateurs sont tous les deux liés à la démographie et à l'emploi présent sur les communes (Tab III.4).

Type de flux	R
<i>In</i>	0.838
<i>Out</i>	0.914
<i>Loop</i>	0.854

©Klaus UNIL 2013

Tableau III.6. Coefficients de corrélations entre les LOG des flux téléphoniques et pendulaires *in*, *out* et *loop* des communes

La masse démographique et économique communale est donc assez logiquement productrice des distributions géographiques des flux entrants et sortants des communes, ainsi que des flux intra-communaux. Ainsi dans le cadre de délimitations urbaines à partir de données de flux, l'utilisation de données téléphoniques à la place de données pendulaires ne devrait pas fondamentalement bouleverser la géographie des zones urbaines.

Les données pendulaires possèdent néanmoins une propriété intéressante qui provient de l'asymétrie entre flux entrants et sortants et qui permet de différencier des communes plutôt résidentielles de communes que l'on peut considérer davantage comme des pôles d'emploi (Fig III.4). Une propriété qui peut s'avérer utile dans l'optique d'une analyse du polycentrisme urbain.

Les données téléphoniques, pour lesquels les flux entrants et sortants sont très symétriques, ne présentent pas cette propriété. Cependant, les données téléphoniques présentent quant à elles, d'autres avantages : la caractéristique des rythmes journaliers ou hebdomadaires et c'est peut être grâce à cette propriété que des centralités liées à l'emploi ou aux loisirs pourraient émerger.

III.1.3 Rythme des flux téléphoniques

L'objectif de cette section est d'analyser plus en détail la distribution géographique des flux téléphoniques, et plus précisément de présenter les disparités repérées entre les périodes de communication (Tab II.1).

L'intérêt de mettre en évidence ces disparités est de parvenir à distinguer des centralités liées à l'emploi ou de celles des loisirs et, de manière générale, de montrer les rythmes quotidiens ou hebdomadaires que les données téléphoniques totales peuvent cacher.

III.1.3.1 « Semaine » vs « Week-End »

La semaine, c'est le temps du travail, alors que le week-end, c'est le temps du repos ou des loisirs. Cette différence fondamentale dans l'organisation des activités humaines a un impact sur les communications téléphoniques. Précédemment, on a pu voir en effet que les communications étaient moins fréquentes lors des week-ends (Fig. II.3), ou encore que les communications intra-communales étaient relativement élevées lors du week-end comparées à la semaine (Tab III.5).

Afin de mieux saisir cette tendance, l'idée est d'observer pour les deux périodes, « semaine » et « week-end » couvrant le jour et la nuit, la distribution géographique des « intensités des flux » inter- et intra-communales :

- **Intensité des flux inter-communales** = $Appels_{in} + Appels_{out} / Jour / Habitant$
- **Intensité des flux intra-communales** = $Appels_{loop} / Jour / Habitant$

Ces deux indicateurs ont d'abord pour effet de rendre comparable les deux périodes (semaine et week-end) en créant une moyenne journalière. Puis en pondérant également par le nombre d'habitants, cela nous permet d'observer l'intensité des communications indépendamment de la taille de la population communale.

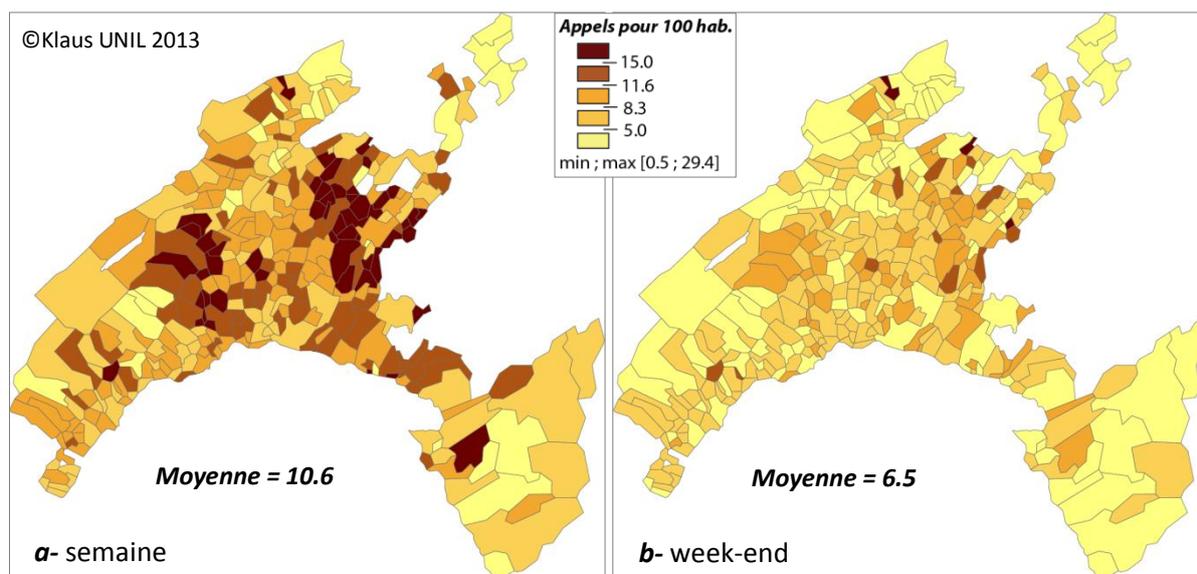


Figure III.8. Intensité des flux inter-communaux en semaine et pendant le week-end

En visualisant la répartition communale de l'intensité des flux inter-communaux (Fig III.8), on observe aisément une différence assez nette dans l'intensité des flux selon les deux périodes. La carte du week-end (Fig III.8(b)) est en effet visiblement « moins intense ». La structure relative des deux cartes est néanmoins assez similaire : dans les deux cas ce sont des communes plutôt rurales du plateau (Nord des districts de Morges et du Gros-de-Vaud) qui concentrent les intensités les plus élevées. Un résultat qui pourrait s'expliquer par le fait que ces régions sont mal couvertes par le réseau de téléphonie mobile et que les individus sont contraints d'utiliser davantage la téléphonie fixe.

Les observations réalisées sur les intensités inter-communales tendent à confirmer qu'au cours de la semaine, période de travail, l'activité téléphonique est plus forte. Toutefois, ce constat n'est pas démontré quand on observe la cartographie de l'intensité des flux intra-communales (Fig III.9), car les deux cartes sont en fait très similaires et les moyennes des intensités intra-communales quasi égales. Une observation qui tend ainsi à montrer que les disparités dans l'intensité des flux téléphoniques entre la semaine et le week-end sont uniquement dues aux communications inter-communales. Il sera donc d'autant plus intéressant de se concentrer par la suite sur les relations inter-communales en adoptant une approche à partir de leurs réseaux, et d'observer comment les relations entre les communes peuvent évoluer entre la semaine et le week-end.

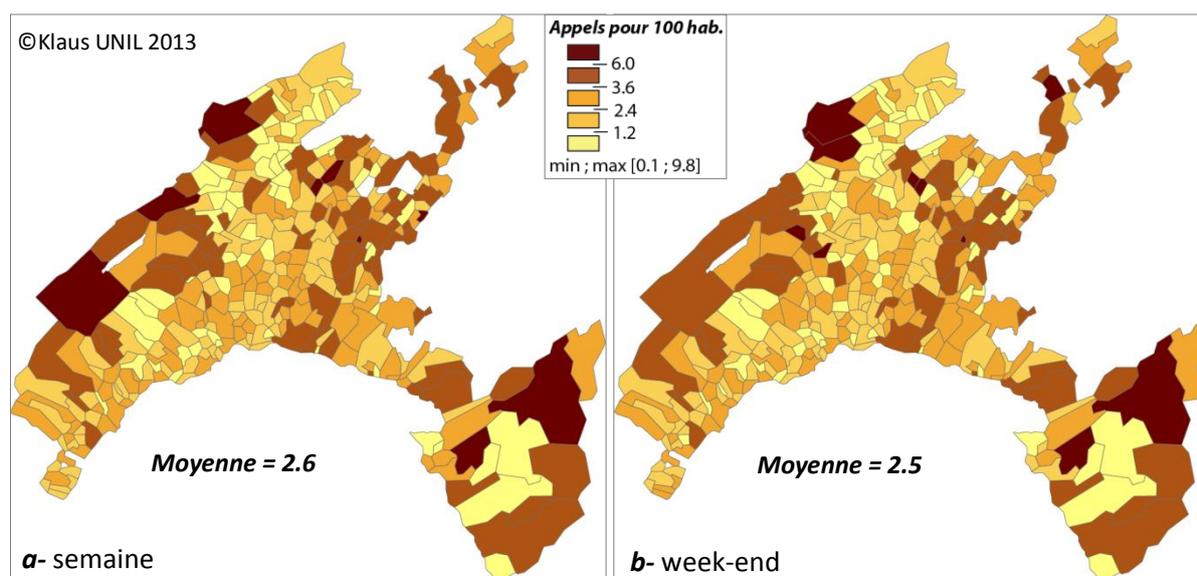


Figure III.9. Intensité des flux intra-communaux en semaine et pendant le week-end

Concernant la distribution géographique des intensités des flux intra-communaux (Fig III.9), on n'observe à nouveau que peu de différences entre les deux cartes. En comparaison des intensités intercommunales (Fig III.8), les grandes communes périphériques du Jura vaudois et des Alpes vaudoises (Le Chenit, Chateaux d'Oex, Sainte-Croix) communiquent davantage à l'interne, tout comme les villes centres (Lausanne, Yverdon-les-Bains, Montreux, Aigle). Un résultat pouvant être en lien avec le fait que ces régions concentrent une population plus âgée utilisant davantage la téléphonie fixe.

Suite aux observations réalisées sur les cartes des figures III.8 et III.9, il n'est cependant pas possible de dégager des différences nettes entre les structures géographiques ou les centralités des deux périodes de communication que sont la semaine et le week-end. Les deux distributions géographiques sont en effet extrêmement similaires.

Des analyses identiques dans le but de comparer les rythmes de communication des horaires de journée et des horaires de soirée n'ont d'ailleurs rien apporté non plus. Suite à cela, des analyses comparatives plus approfondies ont été réalisées en croisant les informations pour différentes périodes de communications. Celles-ci ont mis en évidence une certaine polarisation des communications au cours d'une période particulière : la période des vacances de Noël.

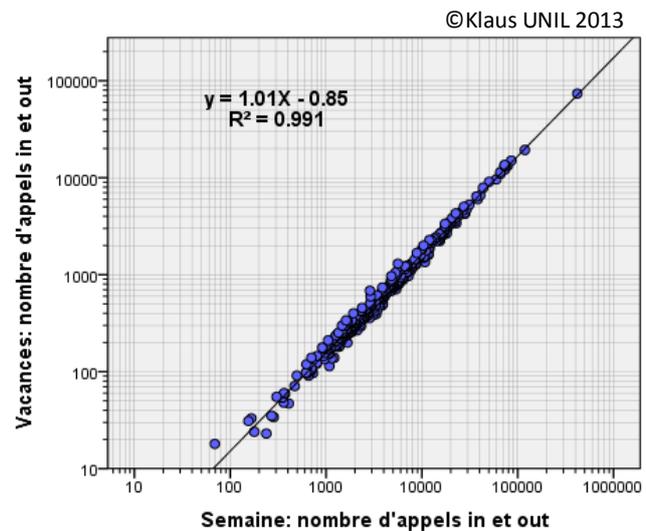
III.1.3.2 « Semaine normale» vs « Vacances de Noël »

Les vacances de Noël sont une période unique dans l'année car beaucoup d'individus ne travaillent pas et un certain nombre délaisse leur domicile pour séjourner ailleurs. On peut donc supposer que la distribution géographique des flux peut varier entre des semaines ordinaires de travail et la période des vacances de Noël.

Pour approfondir cette hypothèse, nous avons corrélé les communications intercommunales des deux périodes afin d'observer si certaines communes possèdent des quantités de communications variables entre les semaines de travail et les vacances de Noël.

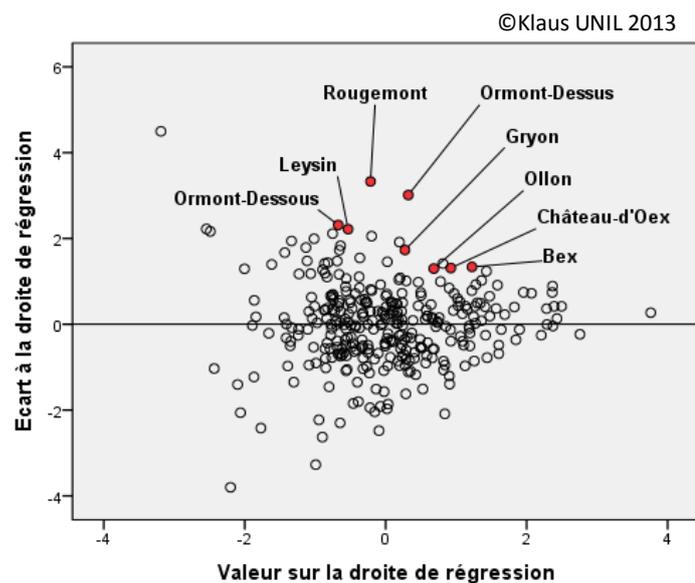
La corrélation entre le nombre d'appels pendant les semaines « normales » et pendant les vacances de Noël (Fig.III.10), ne semble distinguer aucune commune s'écartant de la droite de régression. Les communications des communes sur les deux périodes sont donc extrêmement similaires.

Figure III.10. Relations entre le nombre d'appels entrants et sortants des communes pour les périodes de « semaine » et « vacances de Noël »



Pendant, on observe des résultats intéressants quand on analyse les écarts à la droite de régression avec des valeurs standardisées (centrée-réduites) (Fig III.11). Sur l'axe des Y, on a donc les écarts entre les communications observées pendant les « Vacances de Noël » et celles estimées d'après les appels de « semaine » (résidus). Sur l'axe des X on a gardé les valeurs de la période « Semaine ».

Figure III.11. Ecart des communes à la droite de régression. Les valeurs et les résidus sont standardisés.



Les communes qui s'écartent de la droite de régression passant par 0 sont donc des communes pour lesquels les communications pendant les vacances sont différentes de celles qu'on estimerait d'après celles des semaines « normales ». Or on constate une sur-représentation remarquable (au dessus-de la droite) des communes des Alpes vaudoises (points rouges), soit des communes desquelles on téléphone davantage pendant les vacances de Noël relativement aux périodes « normales ».

La cartographie de ces écarts (Fig III.12) confirme le résultat. La région des Alpes vaudoises se distingue clairement dans une organisation spatiale de ces écarts plus désordonnée. Ces résultats semblent ainsi provenir d'un effet « vacances au ski » car lors des vacances de Noël, la population des villages de montagnes est souvent démultipliée par l'arrivée des touristes ou des propriétaires d'une résidence secondaire.

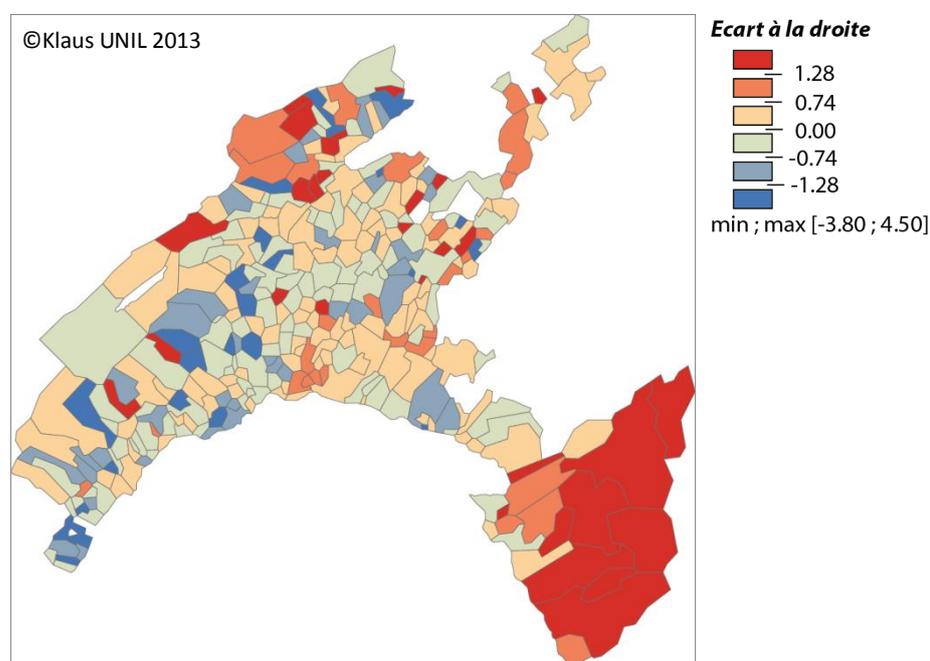


Figure III.12. Variations des communications pendant les périodes de semaine de travail et la période des vacances de Noël

Ces observations permettent ainsi de mettre en évidence les pôles touristiques lors des périodes de vacances de Noël. Un résultat qui n'est donc pas d'un grand intérêt quand l'objectif serait davantage de mettre en évidence des polarités urbaines. Toutefois, cela confirme que les données téléphoniques reflètent bien l'activité humaine dans l'espace géographique.

III-2 L'espace des flux : analyse sur les réseaux téléphoniques et pendulaires

Pour cette seconde partie d'analyse exploratoire et comparative, il s'agit d'aller au-delà des espaces géographiques communaux considérés comme des entités indépendantes, comme ce fut le cas dans la partie précédente, et de souligner désormais les interactions dans l'espace des flux en adoptant une approche « réseau ». L'approche consistera à analyser les réseaux téléphoniques et pendulaires en mettant l'accent sur l'analyse et la comparaison des graphes issus des deux réseaux. Pour ce faire, l'idée est d'analyser les structures, les formes et les propriétés statistiques de quelques graphes, puis de les comparer afin de mettre en évidence les disparités dans les centralités des graphes, ainsi que les disparités dans les relations entre ces centralités.

III.2.1 Analyse préliminaire des réseaux téléphoniques et pendulaires

Dans un premier temps, il s'agit de présenter les caractéristiques des réseaux téléphoniques et pendulaires (Fig. III.13) sur lesquels se basent les analyses qui vont suivre. Dans les deux cas, les réseaux se composent de 326 nœuds qui représentent l'ensemble des communes du canton de Vaud. Quant aux liens, ils sont valués et non-dirigés. Cela signifie que dans les deux cas, on a sommé les interactions mutuelles entre deux communes. Cela permet d'une part de supprimer l'asymétrie des flux pendulaires et d'obtenir de meilleures partitions des graphes (III.2.3.2). De plus, ce type de réseau a notamment été utilisé par Ratti et al. (2010) et Calabrese et al. (2011) dans l'analyse des bassins téléphonique de la Grande-Bretagne et des Etats-Unis.

©Klaus UNIL 2013

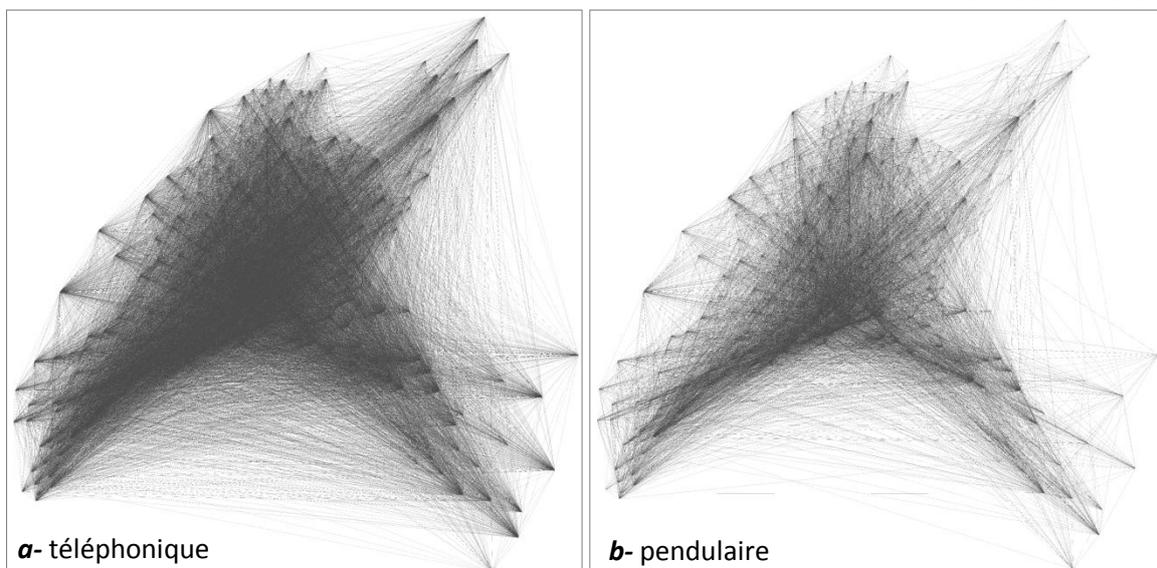


Figure III.13. Réseaux téléphoniques et pendulaires du canton de Vaud

On a également du fixer un seuil de significativité pour le réseau téléphonique afin de supprimer les communications erronées : un lien représente au minimum 3 appels entre deux communes sur les 3 mois de données à disposition. En revanche, pour le réseau pendulaire, la totalité des relations de la matrice origine-destination est conservée : un lien entre deux communes représente au minimum 1 pendulaire qui se déplace de façon quotidienne entre deux communes.

Le seuil appliqué au réseau téléphonique a pour effet de supprimer près de 7'000 liens entre les communes, soit un peu plus de 30% de la totalité des liens du réseau original. Toutefois, le poids de ces liens est insignifiant étant donné qu'ils représentent moins de 10'000 appels, soit un peu moins de 0.004% de la totalité des communications entre les communes.

Malgré le seuil appliqué au réseau téléphonique, le réseau conserve une densité de liens plus importante que le réseau pendulaire. Cette propriété est d'abord visible sur la figure III.13, mais aussi de manière statistique. La densité du réseau téléphonique est en effet plus de deux fois supérieure au réseau pendulaire et compte plus de 21'000 liens entre les 326 communes du canton (Tab. III.7). Conséquence à cela, le degré moyen, qui indique le nombre de voisins auxquels est reliée en moyenne chaque commune, est aussi deux fois supérieure pour le réseau téléphonique.

©Klaus UNIL 2013

	<i>Nombre de communes</i>	<i>Degré moyen</i>	<i>Nombre de liens</i>	<i>Densité</i>	<i>Clustering moyen</i>	<i>Clustering moyen pondéré</i>
Réseau téléphonique	326	132.6	21'619	0.408	0.682	0.824
Réseau pendulaire	326	63.2	10'299	0.194	0.647	0.825

Tableau III.7. Statistiques descriptives des réseaux téléphoniques et pendulaires

En revanche, quand on s'intéresse au coefficient de *clustering* moyen, qui mesure la connectivité moyenne du voisinage d'un nœud, les résultats sont assez proches. Ce qui signifie que pour les deux réseaux, deux communes reliées à une troisième ont une probabilité à peu près équivalente d'être également reliées entre elles.

De plus, lorsqu'on ajoute le poids des liens dans le calcul du coefficient de *clustering*, les coefficients sont supérieurs aux résultats des coefficients non-pondérés. Des résultats plus élevés qui indiquent que les *clusterings* des deux réseaux sont principalement générés par des liens avec des poids importants (Barrat et al., 2004). Ces liens, qui concentrent les interactions majeures, ont donc un effet important sur l'organisation du réseau.

Ainsi, afin de pouvoir comparer les réseaux téléphoniques et pendulaires de manière plus fine et de pouvoir visualiser plus clairement leurs centralités et leurs relations, nous proposons de concentrer l'analyse sur les liens principaux des deux réseaux. Ces liens aux poids importants forment, avec les communes qu'ils connectent, la partie « dense » des réseaux.

III.2.2 Sélection des densités majeures sur les deux réseaux

La sélection des densités majeures sur les deux réseaux nécessite l'application d'un seuil sur le poids des liens. Or ce type de choix peut souvent paraître peu objectif. Dans notre cas, il s'agit avant tout de pouvoir comparer et visualiser deux réseaux avec un nombre de liens équivalents, le choix des seuils a donc été effectué afin de correspondre à ces critères.

Pour sélectionner la partie « dense » du réseau téléphonique, l'idée a d'abord été de ne garder que les liens sur lesquels les communications entre deux communes représentent au minimum un appel par heure sur les 3 mois ($24\text{heures} * 92\text{jours} = 2208\text{ appels}$). A quelques liens près, cela correspond en fait aux 150 liens les plus « forts » du réseau téléphonique. Concernant la sélection du réseau pendulaire « dense », l'application d'un seuil équivalent afin d'obtenir un réseau comparable de 150 liens équivaut à ne sélectionner que les liens qui comptent au minimum 142 pendulaires.

Une analyse de la distribution des liens permet de mettre en évidence les liens les plus « forts » des deux réseaux. En observant la figure III.14, on distingue que les 150 liens les plus « forts » se détachent assez bien de la distribution de type « puissance » formée par les observations. Ce qui permet de renforcer davantage le choix des 150 premiers liens pour la comparaison des parties « denses » des deux réseaux.

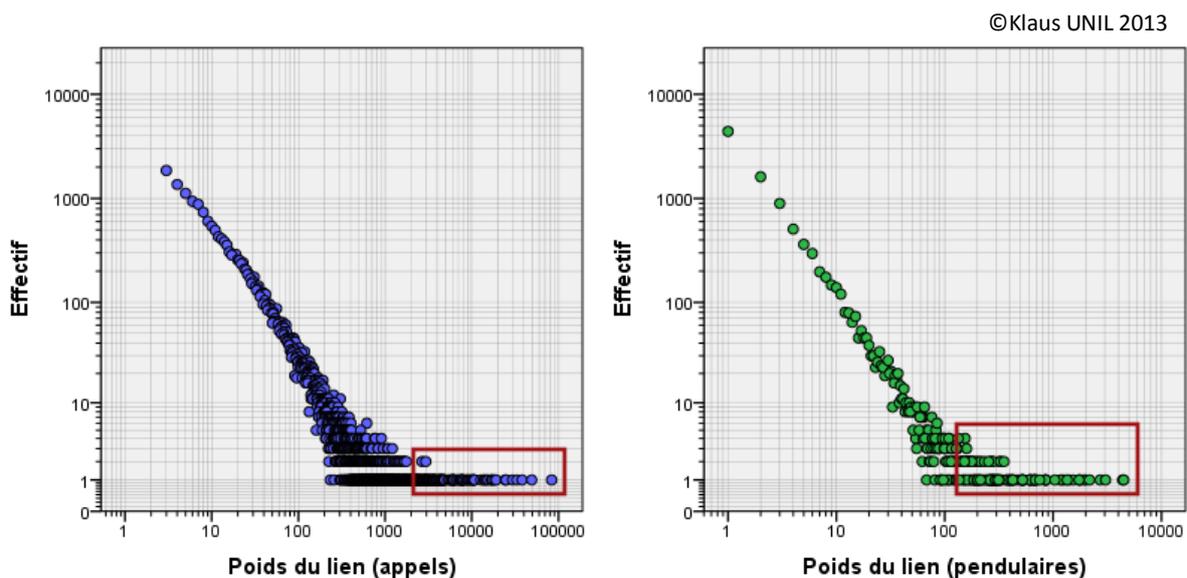


Figure III.14. Fréquence des liens téléphoniques et pendulaires en fonction de leur poids et mise en évidence des 150 liens les plus « forts » (encadré rouge)

Sélectionner uniquement les 150 liens les plus « forts » sur les deux réseaux peut paraître tronquer l'analyse en comparaison du nombre total de liens des réseaux téléphonique et pendulaire (Tab. III.8). Pourtant, ce faible nombre de liens représente sur le réseau téléphonique plus d'un million d'appels pour l'ensemble des 3 mois, soit 39.4% de l'ensemble des communications inter-communales. Et dans le cas du réseau pendulaire, ces 150 liens concentrent plus de la moitié de l'ensemble des pendulaires inter-communales (Tab. III.8).

©Klaus UNIL 2013

	<i>Nombre de communes</i>	<i>Nombre de liens</i>	<i>Poids des liens</i>	<i>Proportion du poids total</i>	<i>Seuil inférieur sur les liens</i>
Réseau téléphonique « dense »	85	150	1'023'924 appels	39.4%	2283 appels ~ 1 appel/heure sur les 3 mois
Réseau pendulaire « dense »	93	150	75'794 pendulaires	52.7%	142 pendulaires

Tableau III.8. Statistiques descriptives des parties « denses » des deux réseaux

III.2.3 Comparaison de la partie « dense » du réseau téléphonique et de la partie « dense » du réseau pendulaire

Pour comparer les parties « denses » des réseaux téléphoniques et pendulaires, l'idée est de mobiliser deux types de méthode complémentaires : la relation rang-taille dans le but de comparer la hiérarchie des communes dans les deux réseaux, et le partitionnement des deux réseaux par une méthode de *clustering* afin de faire émerger des « communautés » de commune distinctes.

III.2.3.1 Hiérarchie rang-taille des communes

La comparaison des hiérarchies des communes dans les deux réseaux peut s'effectuer selon la méthode rendue célèbre par Pareto (1906), puis par Zipf (1949) en géographie, et dont le principe consiste à décrire les observations d'une variable de taille en fonction de leur rang. Dans notre cas, la variable de taille correspond pour chacun des réseaux au degré pondéré des communes, soit à la somme des appels ou des pendulaires présents sur les liens reliés à une commune. Ainsi, la commune qui possède le degré pondéré le plus élevé occupe le rang 1, la commune venant ensuite le rang 2 etc.

Hormis l'intérêt de comparer les rangs des communes dans les deux réseaux, la mise en relation de la variable de taille et de son rang sur un diagramme log-log permet de comparer la hiérarchisation du système par l'observation des pentes. En effet, plus la pente est forte et plus le système est hiérarchisé.

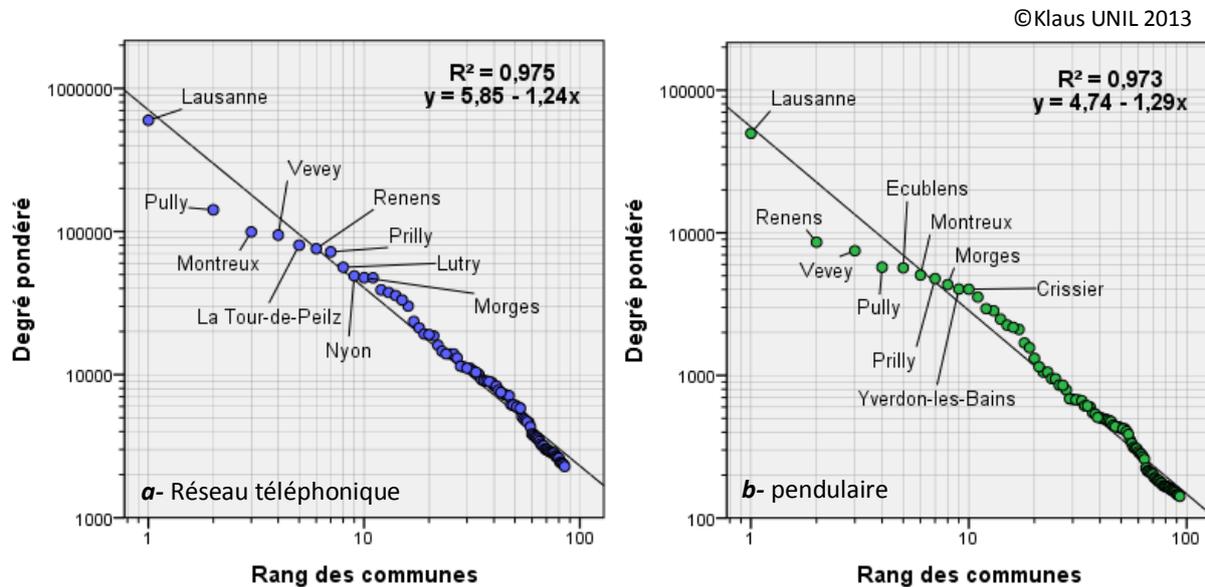


Figure III.15. Diagrammes rang-taille sur les communes des réseaux téléphoniques et pendulaires

D'après les pentes des figures III.15, la hiérarchisation des communes sur le réseau pendulaire est légèrement plus prononcée que celle du réseau téléphonique (1.29 contre 1.24), malgré que les structures des deux distributions soient très semblables visuellement. Dans les deux cas, la commune de Lausanne domine nettement la hiérarchie, puis on observe un palier de communes intermédiaires qui s'étend jusqu'au 10^{ème} rang environ. L'essentiel du haut des deux hiérarchies, à l'exception d'Yverdon-les-Bains, est composé de communes des rives lémaniques situées dans la banlieue lausannoise (Pully, Renens, Prilly, Ecublens, Lutry, Crissier), sur la Riviera (Montreux, Vevey, La Tour-de-Peilz) ou sur la Côte (Morges et Nyon).

Si l'on compare les variations de rang entre les deux hiérarchies, on constate une influence importante de l'emploi présent sur les communes (Tab.III.9). En effet, les communes qui possèdent un solde pendulaire positif élevé (communes d'« d'emploi ») ont un rang souvent plus bas dans la hiérarchie du réseau téléphonique que dans celle du réseau pendulaire, alors qu'à l'inverse, les communes dont le solde pendulaire est fortement négatif (communes « résidentielles ») ont un rang plus élevé dans le réseau téléphonique que dans le réseau pendulaire. Ce constat ne peut être généralisé à l'ensemble des communes, mais il s'observe assez clairement dans les communes du haut des hiérarchies (Tab. III.9).

Commune « résidentielle »	Solde pendulaire	Différence de rang dans le réseau téléphonique et le réseau pendulaire	Commune d'« emploi »	Solde pendulaire	Différence de rang dans le réseau téléphonique et le réseau pendulaire
La Tour de Peilz	-2216	+7	Renens	+226	-4
Lutry	-1612	+7	Ecublens	+1390	-9
Epalinges	-1674	+5	Crissier	+2054	-10
Bonay	-1012	+8	Bussigny	+704	-13

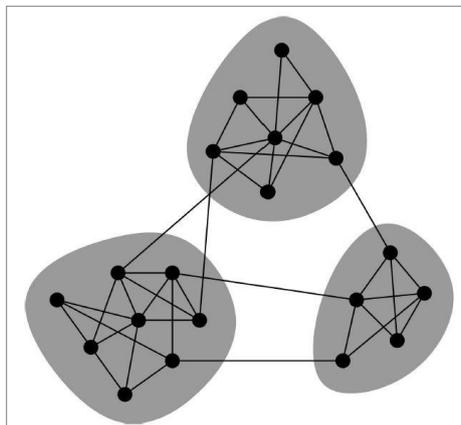
©Klaus UNIL 2013

Tableau III.9. Variation dans le rang des communes du haut des hiérarchies

Les communes à tendance résidentielle sont ainsi avantagées dans le cas du réseau téléphonique. Ce résultat semble alors confirmer l'observation réalisée lors de l'analyse comparative des flux dans la partie III.1.2 : l'influence des centres d'emploi est faible sur le réseau téléphonique comparativement au réseau pendulaire.

III.2.3.2 « Communautés » de communes

La seconde méthode utilisée pour comparer les deux réseaux « denses » est un peu plus complexe. En effet, celle-ci se base sur un algorithme de *clustering* qui parcourt un réseau afin de déceler des « communautés » distinctes ou des groupes de communes au sein du réseau en fonction des liens existants entre les communes. L'hypothèse étant que les individus interagissent davantage au sein d'une communauté qu'entre différentes communautés.

**Figure III.16.** Structure communautaire schématisée d'un réseau (source : Newman, 2006)

L'intérêt de la méthode est de mettre en évidence l'étendue spatiale des influences sociales ou économiques (Calabrese et al., 2011). Des aires d'influences définies par les communautés et qui peuvent ensuite permettre de comparer les réseaux entre eux.

III.2.3.2.1 Méthodes de Clustering

Les méthodes de *clustering* qui permettent de partitionner un graphe en plusieurs communautés se basent la plupart du temps sur l'optimisation de l'« indice de modularité » (Newman, 2006). Cet indice permet de comparer la densité de liens qui existent entre les communes d'un groupe par rapport aux liens qui existerait entre ces communes si le réseau possédait des caractéristiques totalement aléatoires. Ainsi, un indice de modularité élevé indique une densité de liens au sein des communautés du réseau significativement plus élevée que ce que l'on pourrait trouver dans des communautés définies de manière aléatoire.

D'après les résultats statistiques présentés par Newman (2006), cette façon de procéder constitue la méthode la plus efficace à ce jour pour détecter les communautés dans un réseau. La raison principale de ce constat se base sur le fait que la taille et le nombre des communautés d'un réseau ne sont pas déterminés à l'avance par le chercheur. L'optimisation de la modularité par l'ajustement de certains paramètres (le « spin » dans Reichardt et Bornholdt 2006, la « résolution » dans Blondel et al. 2008) permet de trouver un partitionnement optimal du graphe. Toutefois, le nombre de communautés obtenu peut parfois être influencé par le chercheur en modifiant la valeur du paramètre. Mais en agissant de la sorte, la modularité du réseau n'est plus forcément optimisée.

La mise en pratique de la méthode a donné lieu, au cours des dernières années, à de nombreux développements d'algorithmes, en raison de l'importance considérable prise par la détection des communautés en science des réseaux (Lancichinetti et Fortunato, 2009). Dans le cadre de ce travail, l'algorithme utilisé pour la détection des communautés a été développé par Blondel et al. (2008) de l'université de Louvain-La-Neuve (Belgique). Cet algorithme a fait l'objet d'une comparaison avec onze autres algorithmes dans un article de Lancichinetti et Fortunato (2009), dont il ressort de très bons résultats pour l'algorithme de Blondel et al. (2008) qui se classe dans les trois méthodes les plus performantes pour détecter les communautés dans des réseaux d'une grande complexité. Cette méthode mise au point par Blondel et al. (2008) a l'avantage d'avoir déjà été testée sur les flux téléphoniques en Belgique en vue d'une régionalisation (Blondel et al., 2010).

Un autre algorithme a néanmoins été testé afin de pouvoir comparer les communautés obtenues : il s'agit du Spin-Glass clustering développé par Reichardt et Bornholdt (2006) de l'université de Brême (Allemagne). Pour ce faire, vingt modélisations ont été réalisées pour chacun des deux algorithmes avec des paramètres similaires (le « spin » dans Reichardt et Bornholdt 2006, la « résolution » dans Blondel et al. 2008) dans le but de créer le même nombre de classes. Suite à la comparaison, il apparaît certains biais dans les résultats des tests réalisés avec le Spin-glass clustering de Reichardt et Bornholdt (2006), qu'on ne retrouve généralement pas avec Blondel et al. (2008). On observe en effet, dans la plupart des tests, des communautés qui sont formées par des communes individuelles,

ou encore des communautés qui intègrent des communes plus éloignées géographiquement. De plus, la variabilité dans le découpage des communautés est plus grande. Cependant, il faut souligner qu'il existe des correspondances évidentes dans le découpage des communautés, les deux algorithmes ne découpent pas des structures extrêmement différentes.

Il est important de préciser que les communautés détectées par l'algorithme de Blondel et al. (2008) peuvent néanmoins légèrement varier, et cela même en gardant un paramètre de « résolution » identique pour une série d'itérations (Fig III.17), car le résultat final dépend en partie de l'ordre dans lequel les nœuds sont parcourus par l'algorithme (Blondel et al., 2010). Dans le cadre de ce travail et lors de chacune de ces utilisations, l'algorithme de modularité est donc appliqué vingt fois avec un paramètre de « résolution » identique et les indices de modularités sont ensuite comparés afin d'observer les éventuelles variations dans les communautés. L'exemple de la figure III.17 réalisée sur la partie « dense » du réseau téléphonique permet d'illustrer la méthode entreprise.

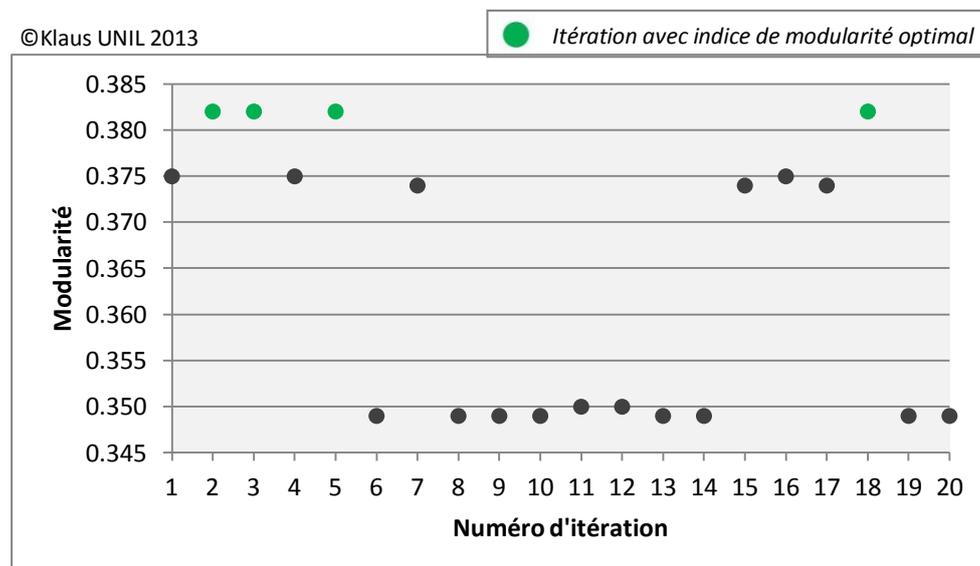


Figure III.17. Indice de modularité pour 20 itérations sur la partie « dense » du réseau téléphonique

Suite à l'application en série de l'algorithme de modularité, on observe des variations de l'indice de modularité qui oscillent entre 0,349 et 0,382. Le nombre de communautés détecté varie également entre 7 et 8 selon les itérations.

Concernant les quatre itérations pour lesquels l'indice est optimal avec une valeur de 0.382 (en vert sur la Fig III.17), 8 communautés identiques sont détectées pour chacune de ces itérations. Ces 8 communautés constituent ainsi le découpage le plus significatif de la partie « dense » du réseau téléphonique (Fig III.18).

Cependant, et nous le verrons plus bas, il peut être intéressant d'observer et de prendre en compte les quelques variations qu'il peut exister avec les résultats obtenus avec des indices de modularité très proches (0.375 par exemple pour la Fig III.17). En effet, les variations concernent parfois uniquement un petit groupe de communes limitrophes qui changent de communauté ou encore un petit groupe de communes fortement inter-connectées qui définit une nouvelle communauté.

III.2.3.2.2 Les Communautés du canton de Vaud

Suite à cette brève introduction méthodologique, l'objectif est à présent d'analyser et de comparer les communautés détectées sur les parties « denses » (les 150 premiers liens) des réseaux téléphoniques et pendulaires du canton de Vaud.

Avec une modularité optimisée sur les deux réseaux, les communautés de communes détectées sont au nombre de 8 communautés pour le réseau téléphonique (Fig III.18) et de 7 communautés pour le réseau pendulaire (Fig III.19). Les six communautés de « Lausanne », « Riviera », « Nord vaudois », « la Côte », « Broye Nord » et « Vallée de Joux » sont identifiables sur les deux réseaux.

Première particularité du réseau téléphonique : l'émergence de la communauté de « Morges » en périphérie de la communauté de « Lausanne ». Dans le réseau téléphonique, l'influence de l'hypercentre lausannois est donc plus faible qu'elle ne l'est dans le réseau pendulaire pour les communes plutôt orientées vers Morges, mais également pour d'autres communes de la banlieue proche. Cette observation est démontrée par le fait que la communauté de « Lausanne » du réseau téléphonique totalise 12 communes de moins (dont 6 seulement constituent la communauté de « Morges »).

Seconde particularité du réseau téléphonique : la présence de la communauté du « Pays d'Enhaut » dont les trois communes (Château d'Oex, Rossinière et Rougement) sont absentes du réseau pendulaire « dense ». Cette observation, à l'instar de l'émergence de la communauté de Morges et de la diminution de l'influence de Lausanne, permet de confirmer les observations réalisées sur le rang-taille (Fig III.15) : la partie « dense » du réseau pendulaire constitue un système plus hiérarchisé que la partie « dense » du réseau téléphonique. Le réseau téléphonique permet ainsi une meilleure mise en évidence des interactions locales et périphériques comparé au réseau pendulaire.

Pour les spécificités du réseau pendulaire, on remarque que les communes de Moudon et de Lucens sont légèrement plus périphériques et forment à elles-seules une petite communauté. Un phénomène qui s'explique par le fait que Lucens n'est pas connecté à la commune de Lausanne dans le réseau pendulaire « dense ». Il faut néanmoins noter que cette communauté particulière peut également émerger dans le réseau téléphonique « dense » selon les itérations de l'algorithme.

©Klaus UNIL 2013

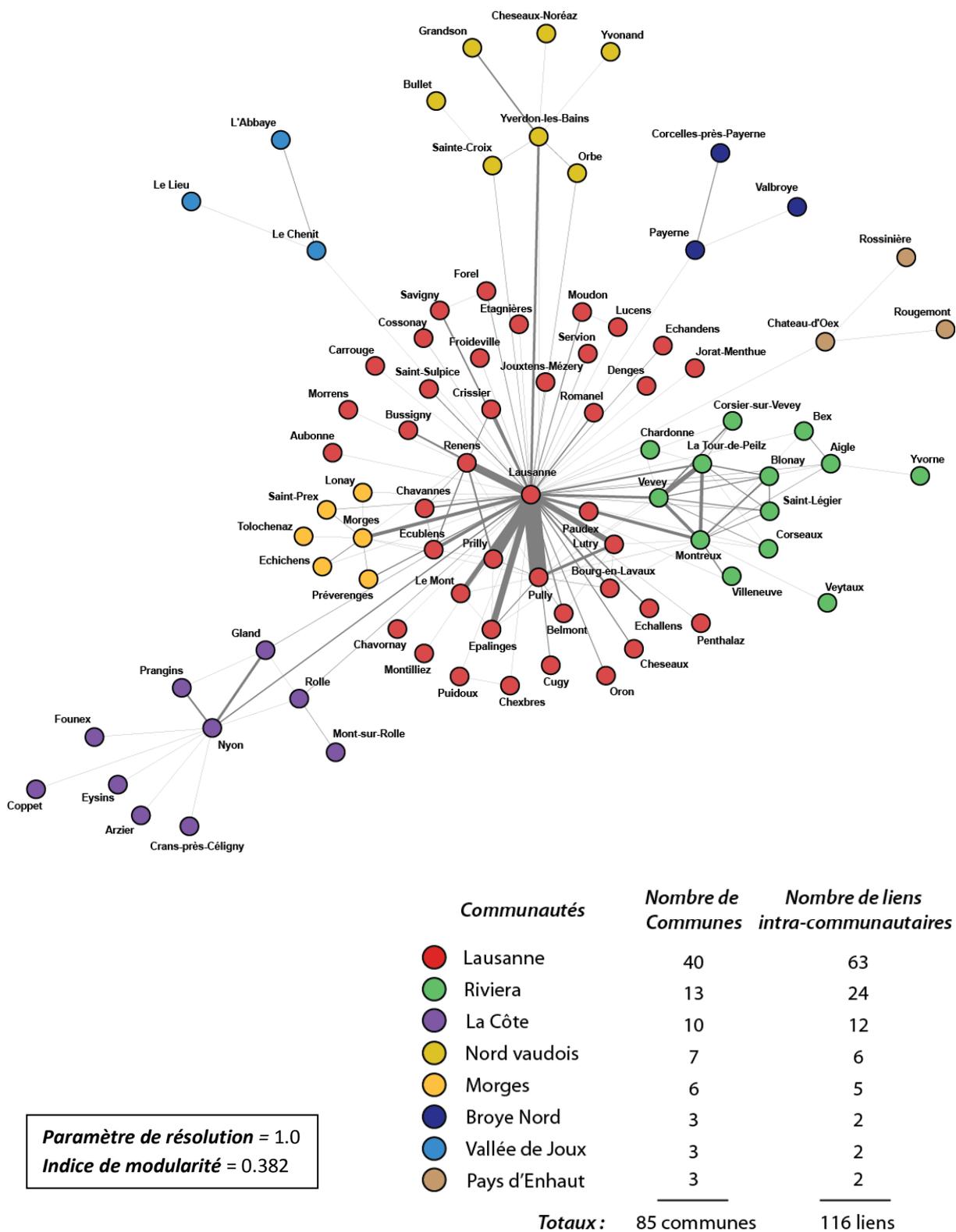


Figure III.18. Communautés de commune dans la partie « dense » du réseau téléphonique (150 liens les plus « forts »)

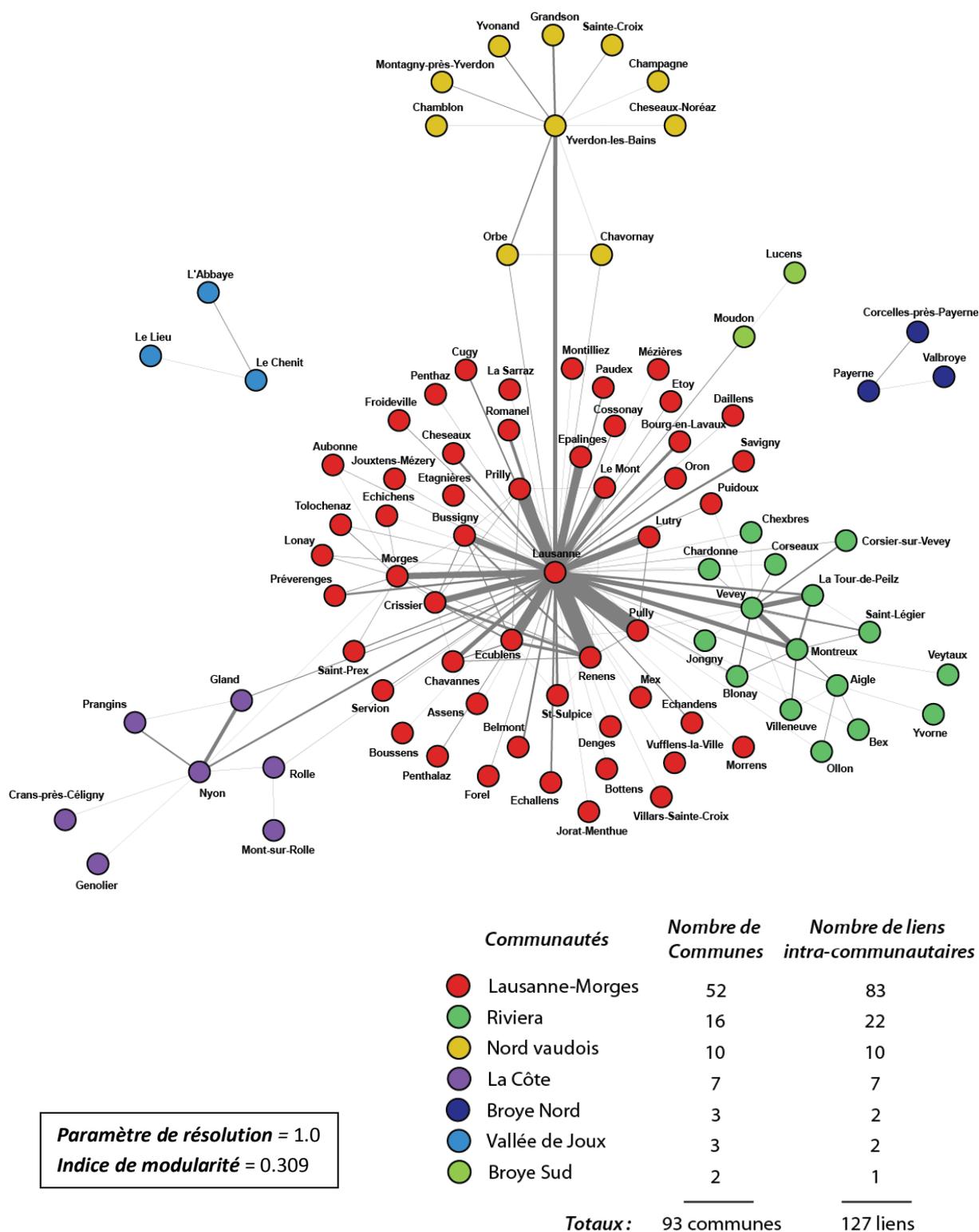


Figure III.19. Communautés de commune dans la partie « dense » du réseau pendulaire (150 liens les plus « forts »)

III.2.3.2.3 Morphologie et centralités dans les communautés

S'agissant de la morphologie des réseaux, la visualisation non pas géographique mais topologique (à partir des distances réseaux) des deux graphes aide à mieux déceler les proximités systémiques. Ici le positionnement est réalisé dans les deux cas avec le même algorithme de type « Force-Directed » (Hu, 2005). Celui-ci calcule des forces entre les individus (communes) concentrant les nœuds et les communautés « principales » vers le centre, et à l'inverse en repoussant les nœuds et les communautés « secondaires » vers la périphérie du graphe.

D'un point de vue général, la morphologie des parties « denses » des réseaux téléphoniques et pendulaires est relativement similaire (Fig III.18 et Fig III.19). La commune de Lausanne constitue l'hyper-centre du système sur lequel viennent s'attacher les liens les plus importants. Ces liens « forts » sont cependant plus nombreux sur le réseau pendulaire, ce qui accentue la centralité de la commune de Lausanne dans le système.

Puis, autour de la commune de Lausanne, une « nébuleuse » de communes, regroupées dans les communautés de « Lausanne », « Morges » et « Riviera », forment un ensemble compact et circulaire plus ou moins polycentriques. On distingue en effet assez clairement, dans les deux réseaux, les liens tangentiels autour de la commune de Lausanne, mais également l'excroissance polycentrique formée par la communauté de la « Riviera ». Ces structures polycentriques ne sont en revanche pas similaires sur les deux réseaux. Pour cette raison, la « nébuleuse » et ses trois communautés (« Lausanne », « Morges » et « Riviera ») font l'objet d'une analyse approfondie dans les sections suivantes (III.2.3.2.3.a. et III.2.3.2.3.b.).

Concernant les branches périphériques des deux graphes, elles sont principalement formées par des communautés structurées autour d'un centre secondaire : Yverdon-les-Bains pour le « Nord Vaudois », Nyon pour « la Côte », Payerne pour « Broye Nord », Le Chenit pour la « Vallée de Joux » et Château d'Oex pour le « Pays d'Enhaut ». Pour les communautés de « la Côte » et du « Nord Vaudois », on distingue néanmoins quelques communes qui font office de petits centres locaux (Orbe, Chavornay, Sainte-Croix, Gland et Rolle) de par leur connexion à la commune de Lausanne. Dans l'ensemble, ces communautés sont assez semblables quand on compare les graphes téléphoniques et pendulaires. Il faut néanmoins noter que les communautés de la « Vallée de Joux » et de « Broye Nord » ne sont pas reliées à Lausanne dans le graphe des pendulaires et constituent par conséquent des composantes différentes du graphe.

III.2.3.2.3.a Le polycentrisme des communautés de Lausanne et Morges

Comme observé plus haut sur les figures III.18 et III.19, la commune de Lausanne constitue l'hypercentre des parties « denses » des réseaux téléphoniques et pendulaires. On remarque

néanmoins une structure de type polycentrique dans les communautés de « Lausanne » et « Morges » pour le réseau téléphonique ou de « Lausanne-Morges » pour le réseau pendulaire.

Afin de mettre en évidence et de comparer le polycentrisme présent dans ce secteur « lausannois » des deux réseaux, une sélection des relations tangentielles a été opérée en supprimant tous les liens reliant les communes périphériques à la commune de Lausanne, puis en supprimant par la suite les communes n'ayant plus de liens avec le reste du système. Suite à cette opération, seules les communes périphériques à Lausanne et possédant des liens entre elles sont prises en compte pour analyser de manière approfondie le polycentrisme du secteur (Fig III.20).

©Klaus UNIL 2013

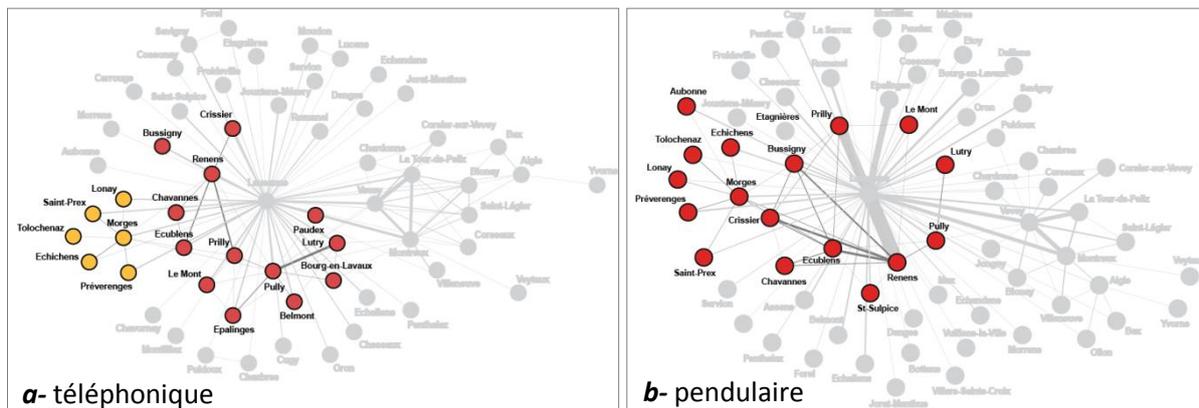


Figure III.20. Les communautés de Lausanne et Morges (après sélection) au sein de la « nébuleuse » centrale des réseaux téléphoniques et pendulaires

Le système polycentrique du réseau téléphonique compte ainsi 19 communes (Fig III.21) et s'organise autour de trois centralités majeures : Renens au centre, Pully à l'Est et Morges à l'Ouest. Ces trois communes, reliées entre elles, forment la structure primaire du polycentrisme lausannois.

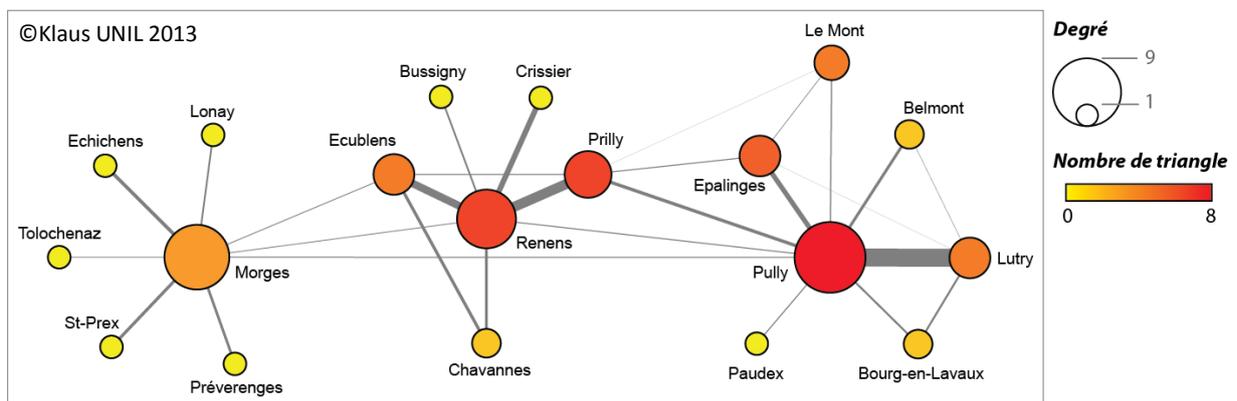


Figure III.21. Le polycentrisme lausannois par le réseau téléphonique (19 communes)

Concernant les structures secondaires du graphe, des disparités s'observent autour des trois centralités principales. La commune de Morges (à l'Ouest) constitue en effet la centralité unique d'un sous-système de 6 communes, alors que les centralités de Renens (au centre) et de Pully (à l'Est)

s'insèrent dans des sous-systèmes de type polycentrique comprenant 6 communes pour celui de Renens et 7 communes pour celui de Pully.

Concernant le polycentrisme lausannois du réseau pendulaire (Fig III.22), de fortes disparités se dégagent quand on le compare au polycentrisme du réseau téléphonique (Fig III.21). En effet, l'influence de la commune de Renens (au centre) et de son sous-système formé par 7 communes est largement supérieure dans le réseau pendulaire. Il forme une structure étoilée hyper-connectée qui possède de nombreuses relations en triangle. Inversement, l'influence de la commune de Pully (à l'Est) et de son sous-système formé par 3 communes (4 de moins que dans le réseau téléphonique) est nettement inférieure. On observe ainsi un fort basculement du centre de gravité du graphe pendulaire vers l'Ouest lausannois. Une observation confirmée également par le fait que le sous-système centralisé autour de la commune de Morges possède une commune supplémentaire (Aubonne) dans le réseau pendulaire.

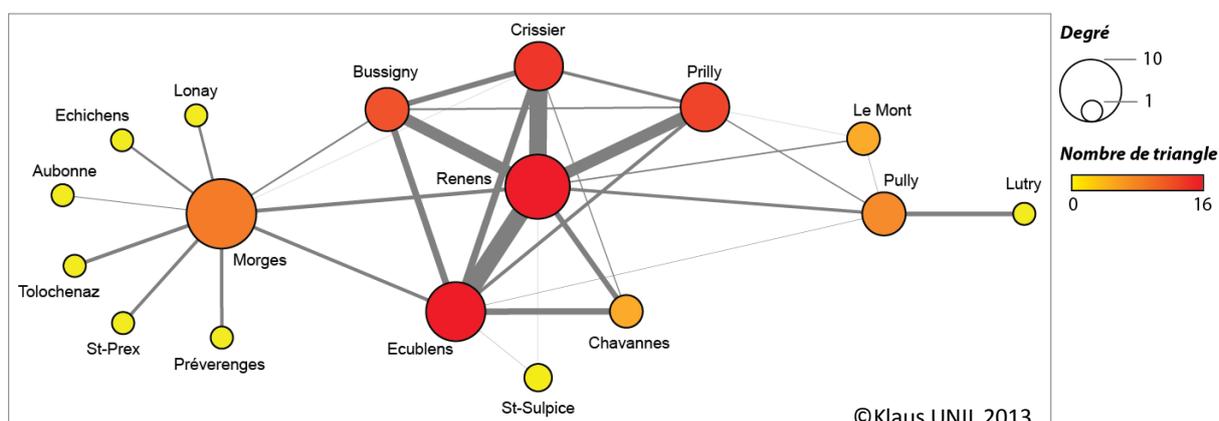


Figure III.22. Le polycentrisme lausannois par le réseau pendulaire (17 communes)

Cette analyse démontre l'influence des centres d'emploi dans la typologie des centralités du réseau pendulaire. En effet, les communes d'« emploi » de l'Ouest lausannois comme Renens, Ecublens, Crissier ou Bussigny (Tab III.9) possèdent des centralités nettement plus élevées dans le polycentrisme pendulaire (Fig III.22). En revanche, les communes de type « résidentiel » de l'Est lausannois comme Epalinges ou Lutry (Tab III.9) ont une centralité élevée dans le polycentrisme téléphonique (Fig III.21) tout en étant absentes du polycentrisme pendulaire (Fig III.22). Ces observations confirment ainsi les résultats observés dans les variations de rang entre les hiérarchies des réseaux téléphoniques et pendulaires « denses » (Fig III.15): l'influence des centres d'emploi sur le réseau téléphonique est faible comparativement au réseau pendulaire. Ce sont davantage les pôles résidentiels qui sont mis en évidence par le réseau téléphonique.

Le polycentrisme de Lausanne-Morges peut donc s'observer dans les deux réseaux, téléphonique et pendulaire, mais selon des structures spécifiques à chacun des deux indicateurs. Le réseau

téléphonique offre une vision d'un polycentrisme résidentielle, là où le réseau pendulaire permet de mettre en évidence un polycentrisme lié à l'emploi.

III.2.3.2.3.b Le polycentrisme de la communauté de la Riviera

Afin d'étayer les observations réalisées sur les communautés de Lausanne et Morges, nous proposons une analyse complémentaire sur la communauté de la « Riviera » qui forme également une structure polycentrique sur les réseaux téléphoniques et pendulaires (Fig III.23). Dans ce cas-ci, on ne distingue en revanche pas d'hypercentralité comme c'était le cas pour Lausanne. L'ensemble des relations et des communes sont donc considérées pour l'analyse du polycentrisme.

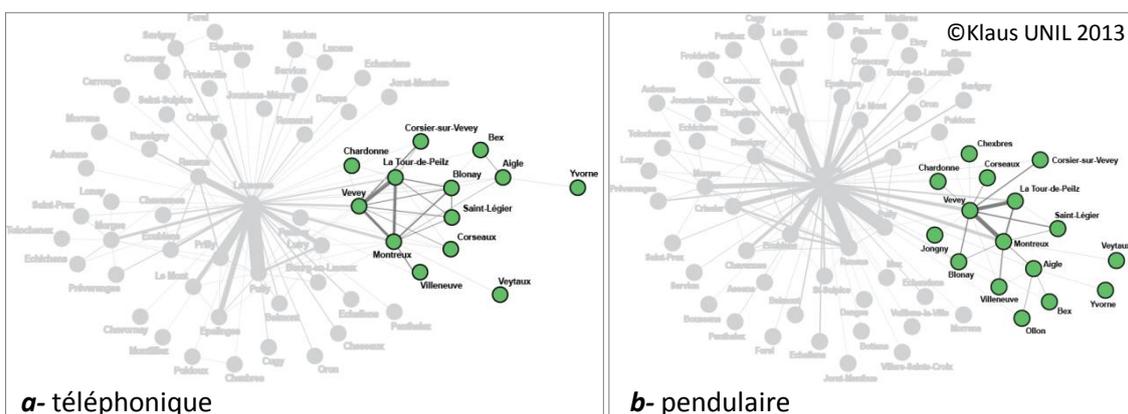


Figure III.23. La communauté de la Riviera au sein de la « nébuleuse » centrale des réseaux téléphoniques et pendulaires

Le système polycentrique du réseau téléphonique compte ainsi 13 communes et s'organise autour de trois centralités principales : Vevey, Montreux et La Tour-de-Peilz. Si l'on y ajoute les centralités secondaires de Blonay et de Saint-Légier, les 5 communes forment un système polycentrique complètement connecté (Fig III.24).

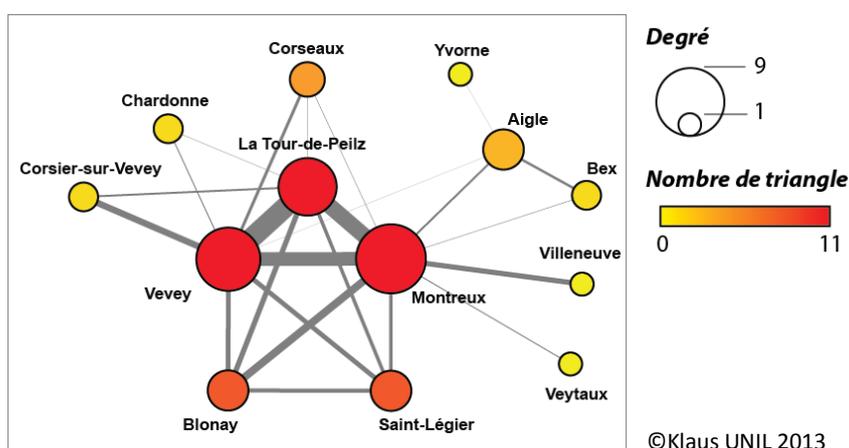


Figure III.24. Le polycentrisme de la Riviera par le réseau téléphonique (13 communes)

En périphérie de ce système en étoile, les communes d'Aigle et de Corsieux semblent avoir un rôle de centralité secondaire dans le réseau téléphonique.

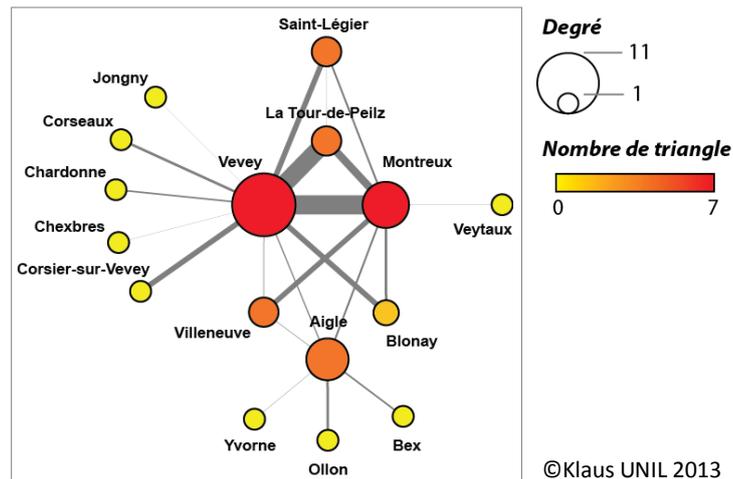


Figure III.25. Le polycentrisme de la Riviera par le réseau pendulaire (16 communes)

Concernant le système polycentrique du réseau pendulaire (Fig III.25), celui-ci compte 3 communes de plus et une structure différente comparé au réseau téléphonique. En effet, la commune de Vevey se distingue ici comme la centralité principale du graphe, là où la commune de Montreux tenait plutôt ce rôle dans le réseau téléphonique (Fig III.24). Cette spécificité au réseau pendulaire s'explique sans doute par le fait que la commune de Vevey est la seule et unique commune de la « Riviera » à enregistrer un solde pendulaire positif en 2000. C'est donc le principal centre d'emploi de la communauté, d'où une centralité plus forte au sein du réseau pendulaire. Cette observation s'applique également, dans une moindre mesure, aux communes d'Aigle et de Villeneuve qui gagnent en centralité dans le réseau pendulaire en comparaison du réseau téléphonique.

Quant aux communes résidentielles de la Tour-de-Peilz et de Blonay (Tab III.9), leur centralité est nettement plus élevée dans le réseau téléphonique que dans le réseau des pendulaires. C'est le cas également des communes de Montreux et de Corseaux, des communes de type résidentiel qui enregistrent toutes deux un solde négatif d'environ 450 pendulaires.

Ainsi, les observations réalisées sur le polycentrisme lausannois sont confirmées par les analyses du polycentrisme de la Riviera. Le polycentrisme de la Riviera est en effet également visible sur les deux réseaux mais selon des structures spécifiques : autour des pôles résidentielles pour le réseau téléphonique et autour des pôles d'emploi pour le réseau pendulaire.

III.2.4 Comparaison des parties « denses » des réseaux téléphoniques selon les périodes de communication

L'objectif de cette section est d'analyser plus en détail les données téléphoniques en se concentrant uniquement sur les parties « denses » des réseaux issus des 5 périodes de communication définies dans le Tableau II.1. A l'instar de la comparaison précédente entre réseau téléphonique et réseau pendulaire, l'intérêt est de mettre en évidence les disparités pouvant exister entre les différentes périodes de communication, que ce soit en terme de communautés de commune ou de centralité des communes dans les réseaux.

La méthode entreprise est donc similaire à la partie III.2.3 qui traitait de la comparaison entre réseau téléphonique et réseau pendulaire : les parties « denses » des 5 réseaux téléphoniques se composent des 150 liens possédant les poids les plus élevés (en nombre d'appels) et les comparaisons entreprises portent sur les trois mêmes objets que précédemment (hiérarchie rang-taille des communes, communautés de communes, morphologie et polycentrisme des réseaux).

III.2.4.1 Bilan général des comparaisons entre les 5 réseaux

Il n'est pas utile de détailler chacun des réseaux tant les similitudes sont fortes entre les 5 périodes de communication. En effet, la hiérarchie rang-taille des communes entre les 5 périodes de communication reste quasi-inchangée à celle observée à la figure III.15 qui comprend des communications sur la totalité des 3 mois. Il existe bien quelques inversions de rang entre certaines communes, mais aucun bouleversement laissant entrevoir une différence notable entre deux périodes de communication. Ajouté à cela, les communautés de commune et la morphologie des réseaux aboutissent également à des résultats quasi-similaires au réseau téléphonique général de la figure III.18 qui comprend des communications sur la totalité des 3 mois.

Dans les faits, 3 réseaux téléphoniques sur les 5 périodes de communication ne dégagent aucune différence digne d'intérêt. Ces observations concernent les réseaux issus des périodes de communication suivantes : « Semaine », « Week-end », « Vacances de Noël ». La seule différence notable observée lors de ces comparaisons concerne en fait les deux réseaux « Horaires » qui portent sur les jours de la semaine: « Horaire de journée » (6-18h) et « Horaire de soirée » (18-24h). Les différences observées portent à la fois sur les communautés détectées, la morphologie des réseaux, mais aussi sur le polycentrisme lausannois.

III.2.4.2 « Horaire de journée » VS « Horaire de soirée »

La comparaison des périodes de communication de l'« horaire de journée » (6-18h) et de l'« horaire de soirée » (18-24h), repose sur l'hypothèse de disparités entre une période d'activité professionnelle (la journée) et une période consacrée davantage aux loisirs ou aux relations sociales (la soirée). Par exemple, on peut imaginer une influence plus importante des centres d'emploi au cours de la journée, en comparaison des horaires de soirée, étant donné qu'ils concentrent une part plus importante d'individus pendant les horaires de travail. Tels qu'ils se présentent, les résultats rendent néanmoins périlleux des interprétations, étant donné que la nature (professionnelles ou non) des appels téléphoniques n'est pas connue.

III.2.4.2.1 *Communautés et morphologie des graphes*

Concernant tout d'abord le partitionnement des graphes : avec une modularité optimisée sur les deux réseaux, les communautés de communes détectées sont au nombre de 11 communautés pour le réseau de l'« horaire de journée » (Fig III.26) et de 7 communautés pour le réseau de l'« horaire de soirée » (Fig III.27). Les six communautés de « Lausanne », « Riviera », « Nord vaudois », « la Côte », « Vallée de Joux » et de « Lavaux » sont par ailleurs identifiables sur les deux réseaux.

L'émergence de la communauté de « Morges » en périphérie de Lausanne, mais aussi des petites communautés de la Broye (« Broye Sud », « Broye Nord », « Broye-Vully ») dans le réseau de l'« horaire de journée », sont des observations qui démontrent une influence plus modérée des centres principaux sur ce réseau comparé au réseau de l'« horaire de soirée ». En effet, au sein du réseau de l'« horaire de soirée », ces 4 communautés se retrouvent sous l'influence de la commune de Lausanne dans les cas de « Morges » ou « Broye Sud », et de la commune d'Yverdon-les-Bains dans le cas de « Broye Nord ». L'influence plus importante des communes principales de la Broye au cours de la journée pourrait être liée au fait qu'elles concentrent une part importante d'emploi. En effet, les communes de Payerne (Broye Nord), Moudon (Broye Sud) ou d'Avenches (Broye-Vully) concentraient plus de 9200 emplois en 2008 et possédaient des soldes pendulaires positifs en 2000.

La partie « dense » du réseau de l'« horaire de soirée » forme donc une structure plus centralisée que la partie « dense » du réseau de l'« horaire de journée ». Ceci s'observe par l'absence des petites communautés périphériques de la Broye, mais aussi par la forte masse de la communauté « Lausanne-Morges » qui dénombre 46 communes en soirée. Inversement, sur le réseau de l'« horaire de journée », les centralités secondaires (Morges, Nyon, Payerne, Avenches, Châteaux-d'Oex) sont moins dépendantes de la commune de Lausanne. L'importance économique de ces centralités secondaires au sein de leur région, notamment en termes d'emploi, pourrait expliquer ce rayonnement en journée.

©Klaus UNIL 2013

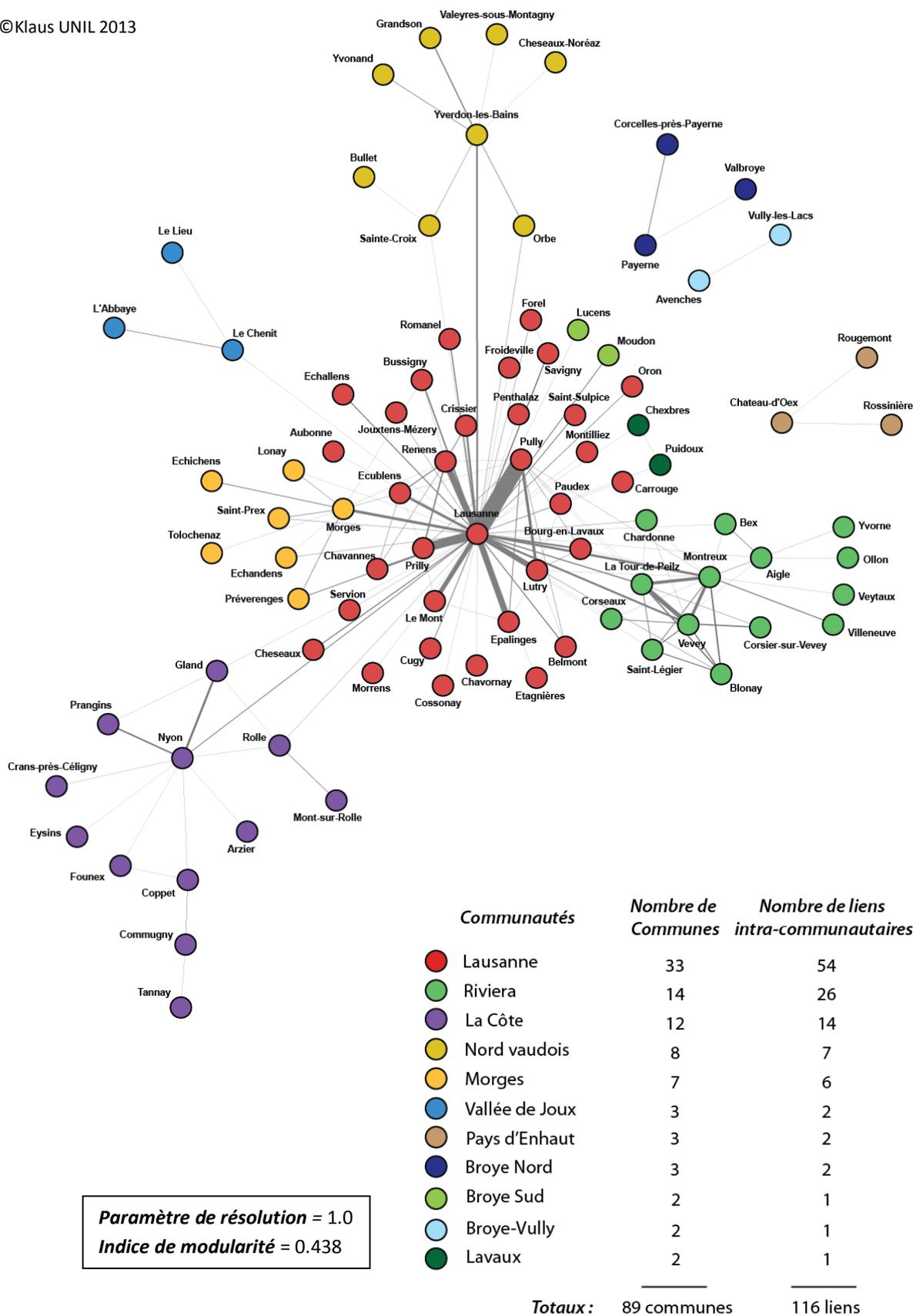


Figure III.26. Communautés de commune dans la partie « dense » du réseau téléphonique « Horaire de journée » (les 150 premiers liens)

©Klaus UNIL 2013

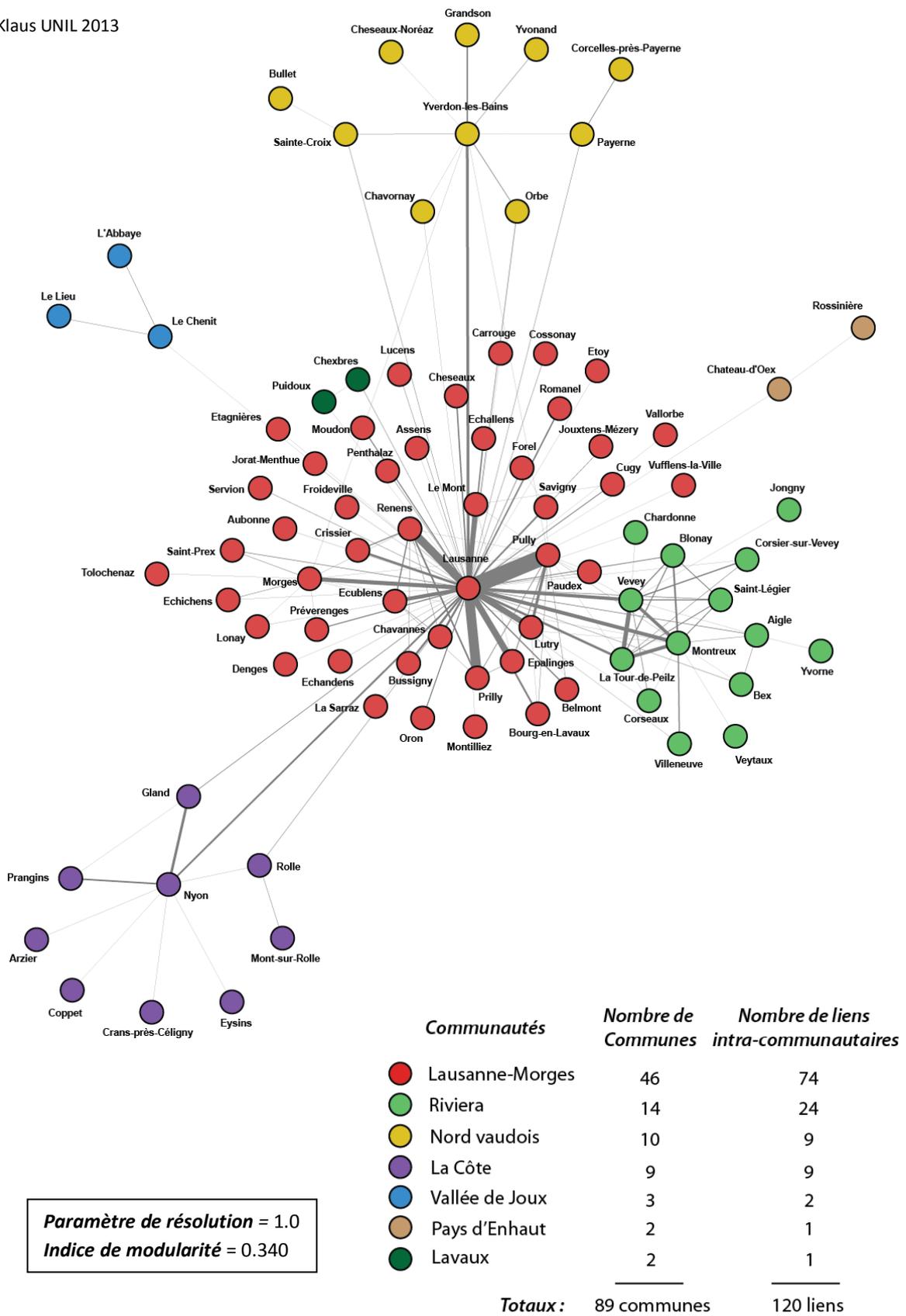


Figure III.27. Communautés de commune dans la partie « dense » du réseau téléphonique « Horaire de soirée » (les 150 premiers liens)

III.2.4.2.2 Le polycentrisme des communautés de Lausanne et Morges :

La mise en évidence du polycentrisme dans le secteur lausannois des deux graphes « horaires » s'effectue selon la méthode employée au point III.2.3.2.3.a : une sélection des relations tangentielles est opérée en supprimant tous les liens reliant les communes périphériques à la commune de Lausanne, puis en supprimant par la suite les communes n'ayant plus de liens avec le reste du système (Fig III.28).

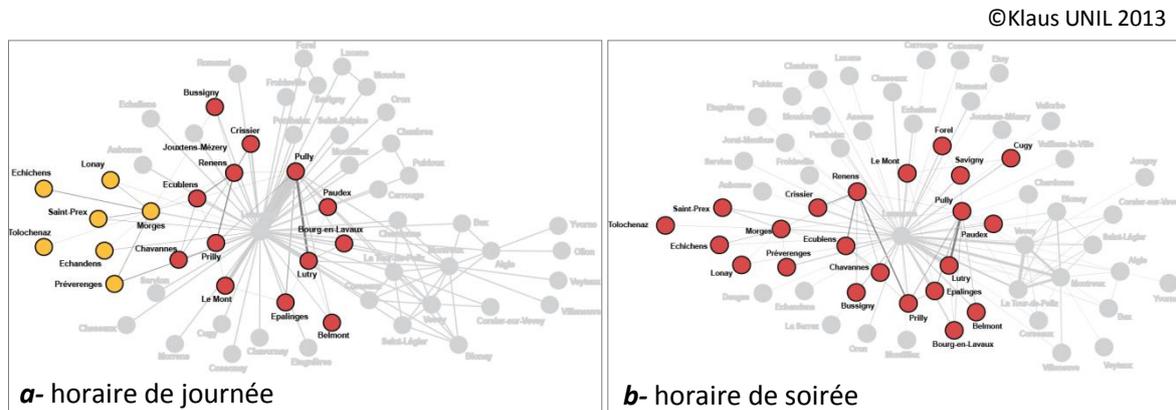


Figure III.28. Les communautés de Lausanne et Morges (après sélection) du réseau de l'« horaire de journée » et du réseau de l'« horaire de soirée »

D'un point de vue général, le polycentrisme lausannois des deux réseaux « horaires » est très ressemblant à celui observé à la figure III.21 qui comprend des communications sur la totalité des 3 mois. Le système polycentrique des deux réseaux s'organise en effet autour de trois mêmes centralités majeures : Renens au centre, Pully à l'Est et Morges à l'Ouest (Fig III.29 et Fig III.30).

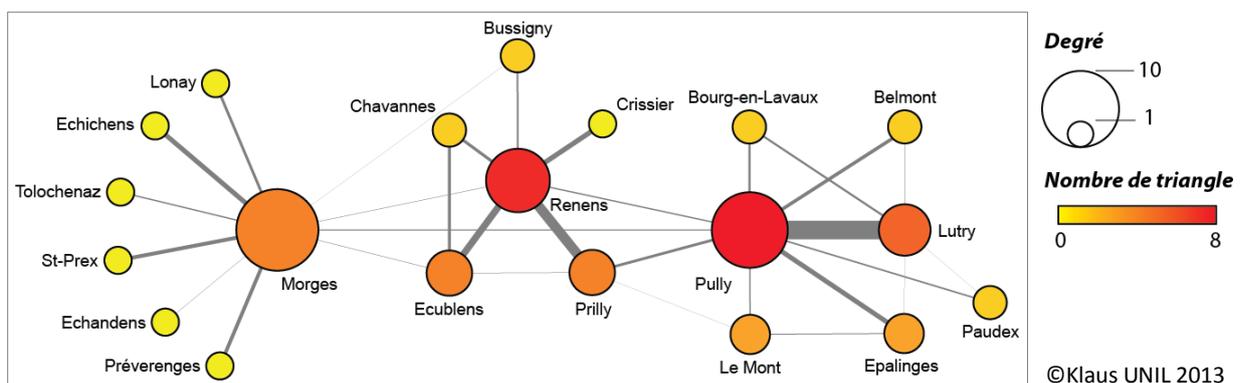


Figure III.29. Le polycentrisme lausannois par le réseau téléphonique de l'« horaires de journée » (20 communes)

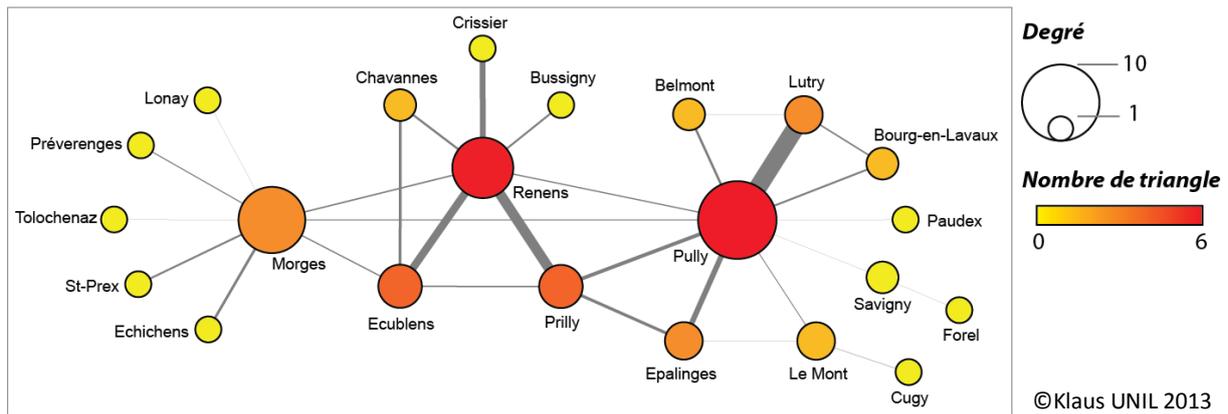


Figure III.30. Le polycentrisme lausannois par le réseau téléphonique de l'« horaire de soirée » (22 communes)

La différence majeure entre les deux réseaux « horaires » correspond à un basculement du centre de gravité des graphes de l'Ouest (en journée) vers l'Est (en soirée). En effet la commune de Morges possède en journée un « satellite » supplémentaire (Echandens) en comparaison de la soirée, ainsi qu'un lien vers la commune de Bussigny. L'Ouest lausannois est donc davantage interconnecté pendant la journée. Et à l'inverse en soirée, c'est l'Est lausannois qui est davantage interconnecté, notamment par l'apparition de 3 communes à caractère résidentiel : Savigny, Forel et Cugy qui possédaient toutes les trois un solde de pendulaire largement négatif en 2000 (-688, -450 et -427).

La disparité Est-Ouest entre les centralités téléphonique et pendulaire, observée dans la section III.2.3.2.3.a, semble ainsi resurgir ici dans des proportions toutefois plus atténuées. Le basculement des réseaux « horaires » de l'Ouest (en journée) vers l'est (en soirée) pourrait donc être le reflet d'un Ouest lausannois plus dynamique en journée à cause de l'emploi et d'un Est lausannois plus dynamique en soirée en raison de son caractère plutôt résidentiel.

III.2.5 Synthèse des comparaisons réalisées sur les parties « denses » des réseaux

L'analyse empirique des parties « denses » des réseaux téléphoniques et du réseau pendulaire permet, premièrement, de confirmer qu'il n'existe pas de différences fondamentales entre les interactions téléphoniques et les interactions pendulaires. Globalement, les « espaces des flux » des deux indicateurs sont relativement similaires. Cette observation va donc dans le même sens que celle réalisée lors de l'analyse de la distribution géographique des flux : l'utilisation de données téléphoniques à la place de données pendulaires pour délimiter les villes ne devrait pas fondamentalement bouleverser la géographie des zones urbaines.

Néanmoins, quelques disparités entre le réseau téléphonique et le réseau pendulaire ont pu être observées, notamment dans la hiérarchie des communes et leur centralité dans les réseaux :

- Le réseau téléphonique est légèrement moins hiérarchisé que le réseau pendulaire. La commune de Lausanne centralise ainsi moins les flux et les interactions des espaces périphériques sont mieux mis en évidence par le réseau téléphonique.
- Les communes de type « résidentiel » ont un rang plus élevé dans la hiérarchie du réseau téléphonique, là où les communes d'« emploi » ont un rang plus élevé dans la hiérarchie du réseau pendulaire.
- Les communes de type « résidentiel » ont une centralité plus importante dans les espaces polycentrique (Lausanne-Morges et Riviera) du réseau téléphonique, là où les communes d'« emploi » ont une centralité plus importante dans les espaces polycentriques du réseau pendulaire.

Ainsi, le réseau téléphonique permet de mettre en évidence les communes de type « résidentiel », alors que le réseau pendulaire, comme déjà démontré précédemment lors de l'analyse comparative des flux (Chapitre III.1.2), met davantage en évidence les pôles d'« emploi ». Ces observations ont notamment été révélées par l'analyse du polycentrisme urbain des communautés de Lausanne-Morges et de la Riviera. Le polycentrisme est présent sur les deux réseaux, mais sous des structures spécifiques à chacun des deux indicateurs.

Cette opposition « résidentiel-emploi » a également été repérée, dans une moindre mesure, dans l'analyse des réseaux téléphoniques « horaires ». En effet, le réseau des « horaires de journée » (6-18h) semble davantage mettre en avant les communes d'« emploi », alors que les « horaires de soirée » font davantage ressortir les communes de type résidentiel. Toutefois, les différences sont assez faibles, d'où l'importance de garder une certaine réserve sur cette interprétation des résultats.

IV Délimitation des espaces fonctionnels du canton du Vaud

Afin de procéder à la délimitation de la région urbaine de Lausanne sur la base des interactions téléphoniques du territoire vaudois, nous proposons de procéder en deux phases : en produisant tout d'abord une régionalisation à l'échelle du canton de Vaud par un partitionnement du réseau, puis en réalisant une analyse plus fine sur la région urbaine de Lausanne, sa zone, ses marges, et ses centralités principales.

Dans cette partie, les délimitations se basent bien entendu sur les réseaux « complets » qui ont fait l'objet d'une analyse préliminaire au chapitre III.2.1 (Fig III.11). Le réseau téléphonique qui se compose de plus de 21'500 liens reliant les 326 communes du canton de Vaud doit donc permettre de délimiter *in fine* la région urbaine de Lausanne. Quant au réseau pendulaire, qui dénombre près de 10'300 liens entre les 326 communes du canton, son rôle est à nouveau d'offrir un élément de comparaison avec le réseau téléphonique.

IV.1 Les régions fonctionnels du canton de Vaud

Pour délimiter des bassins fonctionnels dans une optique de régionalisation du territoire vaudois, l'objectif est d'adopter une approche « réseau » similaire à celle mise en œuvre dans plusieurs études récentes sur la Belgique (Blondel et al., 2010), la Grande-Bretagne (Ratti et al., 2010) et les Etats-Unis (Calabrese et al., 2011). Cette démarche consiste à produire un partitionnement du réseau téléphonique en divers communautés par l'optimisation de son indice de modularité.

Il est nécessaire de rappeler que ce découpage complexe est réalisé sur des graphes valués et non-dirigés qui comprennent tous les liens de communes à communes, ainsi que les 326 liens intra-communaux. C'est le type de graphe qui a été utilisé dans les trois études précitées, ce qui explique le choix de cette forme complète de réseau comprenant les liens internes. Il a néanmoins été observé, dans le cas du canton de Vaud, que l'ajout des liens intra-communaux n'apportait pas d'amélioration significative aux résultats des partitionnements des graphes.

Concernant la procédure utilisée pour optimiser le partitionnement du graphe en plusieurs communautés, les étapes sont similaires à celles réalisées sur les parties « denses » des réseaux dans le chapitre III.2.3.2 :

- 1) **Application multiple de l'algorithme** de modularité par une série de 20 itérations sur le même graphe avec un paramètre de résolution fixé.
- 2) **Comparaison** des 20 indices de modularité générés par les itérations.
- 3) **Sélection** des itérations sur lesquels l'indice de modularité est optimal.

Comme évoqué précédemment, cette procédure est nécessaire étant donné que les résultats ne sont pas identiques pour chacune des applications de l'algorithme sur un même réseau. Il n'existe en effet pas une solution unique de partitionnement en communautés pour un réseau. Les résultats peuvent varier selon la valeur entrée comme paramètre de résolution, mais aussi en fonction de l'ordre dans lequel les nœuds sont parcourus par l'algorithme (Blondel et al., 2010). Il est donc indispensable de se baser sur la valeur de l'indice de modularité pour sélectionner le découpage optimal, tout en prenant en considération les résultats pour lesquels l'indice s'approche du résultat optimal afin de pouvoir observer les disparités existantes.

IV.1.1 Les bassins de vie à partir des données téléphoniques

La délimitation d'espaces fonctionnels à partir d'interactions téléphoniques repose sur l'hypothèse que les gens s'appellent plus fréquemment au sein d'une communauté qu'entre différentes communautés. Ces espaces de communication qui émergent au sein du réseau définissent d'une certaine manière des bassins de vie construits à partir des interactions humaines entre habitants ou utilisateurs plus ou moins éphémères du territoire (employés, touristes etc.).

En délimitant ces bassins de vie (Fig IV.1), on observe très clairement 8 communautés distinctes et continues géographiquement. Ces bassins téléphoniques représentent étonnamment bien ce que l'on connaît des grandes régions géographiques et administratives du canton de Vaud.

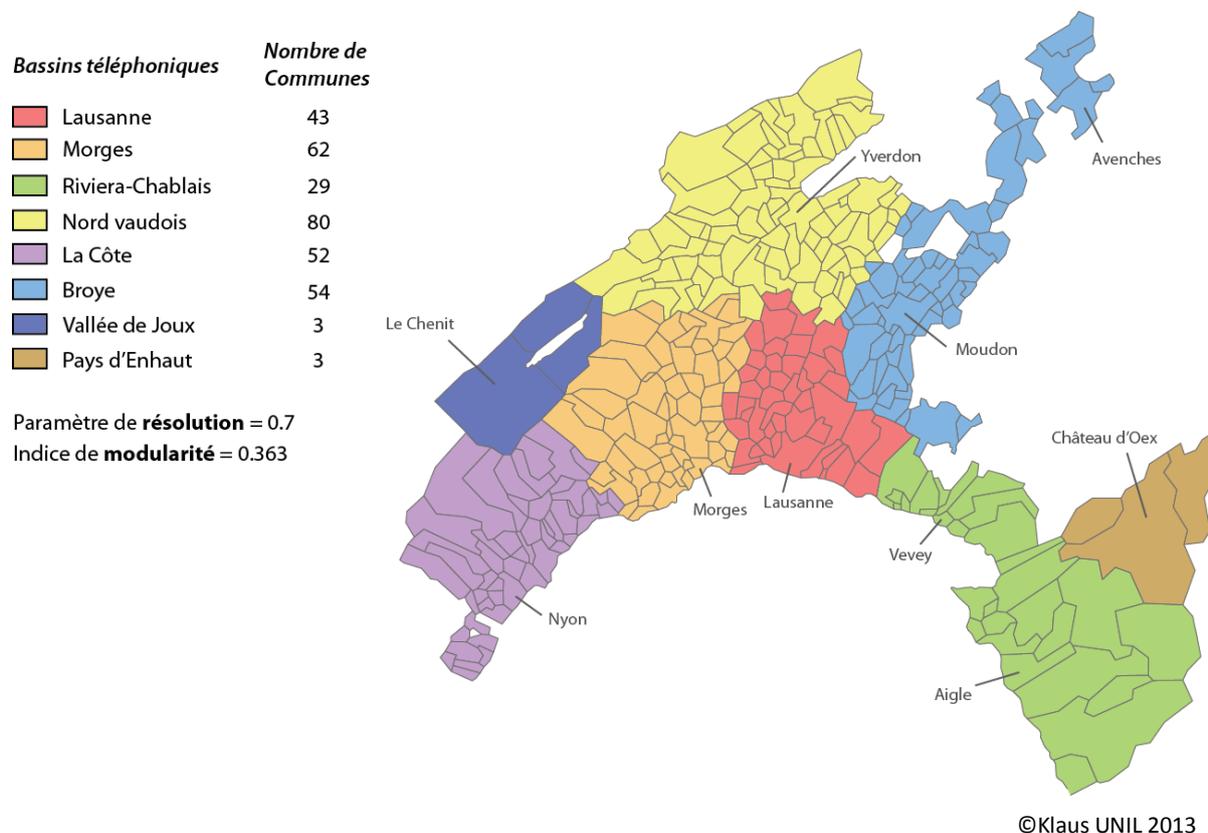


Figure IV.1. Les bassins de vie du canton de Vaud à partir des données téléphoniques

L'indice de modularité du partitionnement de la figure IV.1 vaut 0.363, ce qui signifie que 36.3% des liens entre communes sont établis au sein même des communautés. Notons également que ce découpage optimal a été obtenu avec un paramètre de résolution ajusté à 0,7. Pour rappel, l'ajustement de ce paramètre est nécessaire afin d'obtenir un indice de modularité optimal (l'ajustement de ce paramètre vers le haut aura tendance par ailleurs à détecter davantage de communauté au sein du réseau, et à l'inverse un ajustement vers le bas aura tendance à détecter moins de communauté).

Ainsi, avec un ajustement du paramètre à 0.7, la détection des communautés est optimisée, mais on observe néanmoins une certaine variabilité dans les découpages. En effet, pour trois découpages relativement proches (indice de modularité = 0.361, 0.360 et 0.359) du résultat optimal (indice de modularité= 0.363), on remarque que certains groupes de communes limitrophes à deux communautés se tournent parfois vers la communauté voisine (Fig IV.2). Ces groupes de communes sont mis en évidence dans les représentations ci-dessous par des hachures de la couleur de la communauté vers laquelle ils se sont tournés.

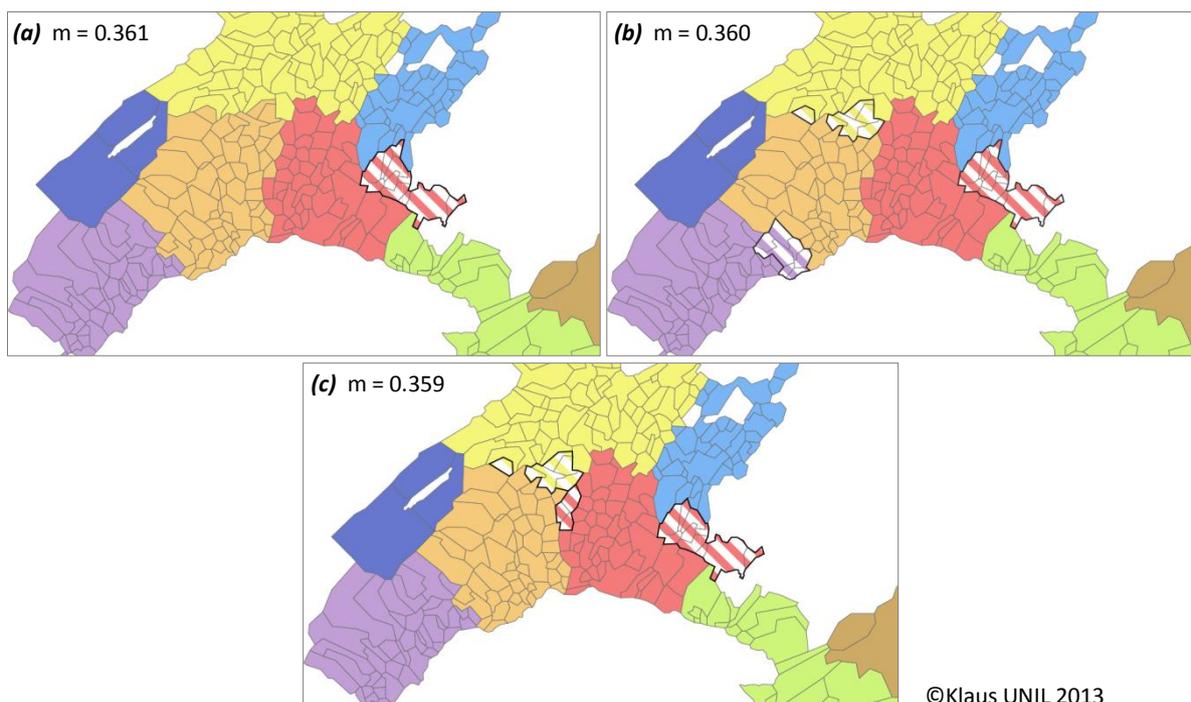


Figure IV.2. Disparités (comparé au découpage optimal) dans les bassins téléphoniques de modularités m : 0.361 (a), 0.360 (b), et 0.359 (c)

Dans les trois situations de la figure IV.2, la communauté de Lausanne (en rouge) s'élargit notamment vers le nord-est en intégrant 11 communes qui appartenaient à la communauté de la Broye dans le découpage optimal de la figure IV.1. De la même manière, les frontières de la

communauté de Morges varient (Fig IV.2 (b),(c)) en cédant notamment des communes aux communautés du Nord vaudois (6), de la Côte (7) et à Lausanne (3).

Dans certains cas, même en gardant un paramètre de résolution identique de 0.7, on observe une variabilité du nombre de communautés détectées dans les découpages. Leur nombre peut en fait varier de 6 à 9 communautés avec des indices de modularité relativement proches qui oscillent entre 0.358 et 0.363.

Concernant les deux exemples pour lesquels 6 et 7 bassins téléphoniques sont détectés (Fig IV.3), ce sont les petits bassins périphériques de la vallée de Joux et du Pays d'Enhaut qui glissent dans des bassins téléphoniques voisins : dans le Nord vaudois pour la vallée de Joux et dans la communauté Riviera-Chablais pour le Pays d'Enhaut. Excepté ces différences, les frontières des différents bassins sont à peu près similaires à celles observées précédemment (Fig IV.1 et Fig IV.2).

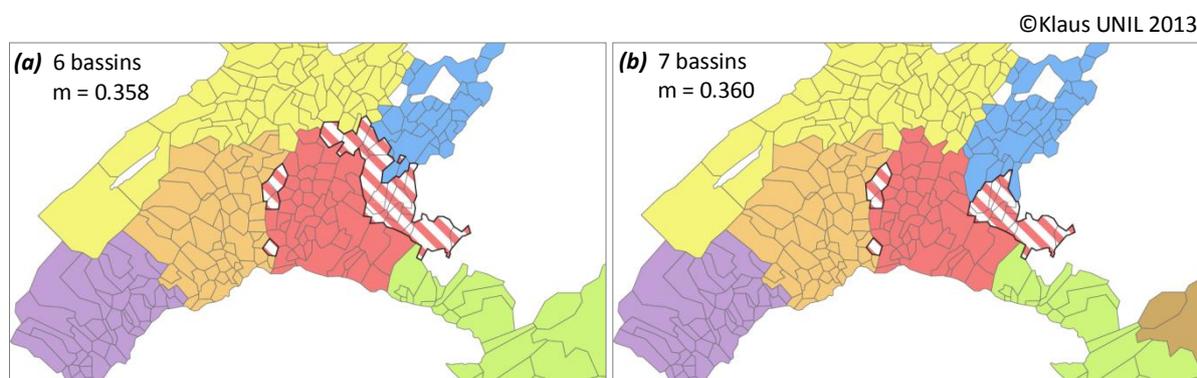


Figure IV.3. Disparités (comparé au découpage optimal) dans les bassins téléphoniques de modularités m : 0.358 avec 6 bassins (a) et 0.360 avec 7 bassins (b)

Dans les deux situations de la figure IV.3, les disparités mises en évidence (en comparaison du découpage optimal de la figure IV.1) concernent uniquement des extensions de la communauté de Lausanne qui s'élargit au détriment des bassins voisins. Des extensions qui sont à nouveau principalement réalisées vers le nord-est sur 17 communes (dont une non-contigüe) du bassin de la Broye et 3 autres communes du bassin du Nord vaudois.

On peut encore relever deux cas dans lesquels de nouveaux espaces fonctionnels ont émergé. Pour le premier cas dans lequel 9 communautés ont été détectées (Fig IV.4 (a)), c'est la région du Gros-de-Vaud, située dans la partie nord de la communauté lausannoise, qui émerge en tant que bassin de vie indépendant. Et dans le second cas, c'est la région de Cossonay, située dans la partie nord de la communauté de Morges, qui émerge dans un espace rattaché à la communauté de la vallée de Joux (en bleu foncé). Deux espaces pourtant non-contigües mais qui ne sont séparés uniquement que par une ou deux communes peu peuplées.

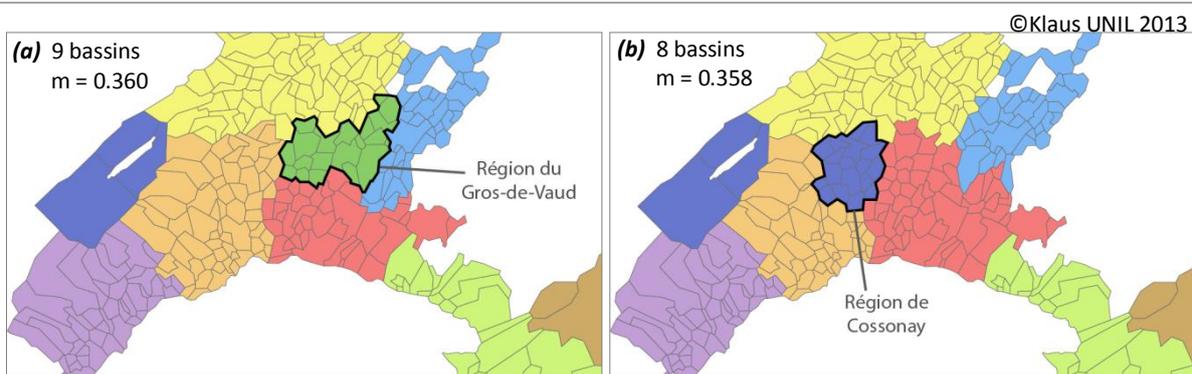


Figure IV.4. Emergence de nouveaux espaces (comparé au découpage optimal) dans les bassins téléphoniques de modularités m : 0.360 avec 9 bassins (a) et 0.358 avec 8 bassins (b)

L'émergence du Gros-de-Vaud et de Cossonay est relativement intéressante dans la mesure où ce sont deux régions assez semblables marquées par un environnement rural prononcé en marge de deux centralités principales : Lausanne et Morges. Les deux régions, constituées autour de petites centralités secondaires (Echallens et Thierrens pour le Gros-de-Vaud, Cossonay et Penthaz pour Cossonay), semblent néanmoins produire un rayonnement social assez fort pour émerger au sein du réseau téléphonique en périphérie des grands centres urbains.

L'ensemble des disparités présentes dans les différents découpages du réseau téléphonique permet de montrer que l'espace peut difficilement être figé dans une configuration unique. Un constat qui permet de démontrer à quel point il est difficile de délimiter un espace pour lequel les frontières sont figées. Ajouté à cela, l'émergence des communautés très locales du Gros-de-Vaud et de Cossonay met en évidence le jeu d'échelle permanent au sein d'un territoire : ces régions sont-elles indépendantes des grands centres urbains ou font-elle pleinement partie des bassins de vie de Lausanne et Morges ? Ces questions devront nécessairement être discutées lors de la délimitation de la région urbaine de Lausanne.

IV.1.2 Les bassins de mobilité à partir des données pendulaires

La délimitation d'espaces fonctionnels à partir des flux de pendulaires définit des espaces de mobilité quotidiennes, ou bassins d'emploi, parcourus de manière préférentiels par une majorité de la population active. Dans le cadre de cette étude, il est donc intéressant de pouvoir comparer les bassins d'emploi obtenus sur le réseau pendulaire avec les bassins de vie obtenus sur le réseau téléphonique, car ils représentent deux types d'espaces fonctionnels avec leurs spécificités propres.

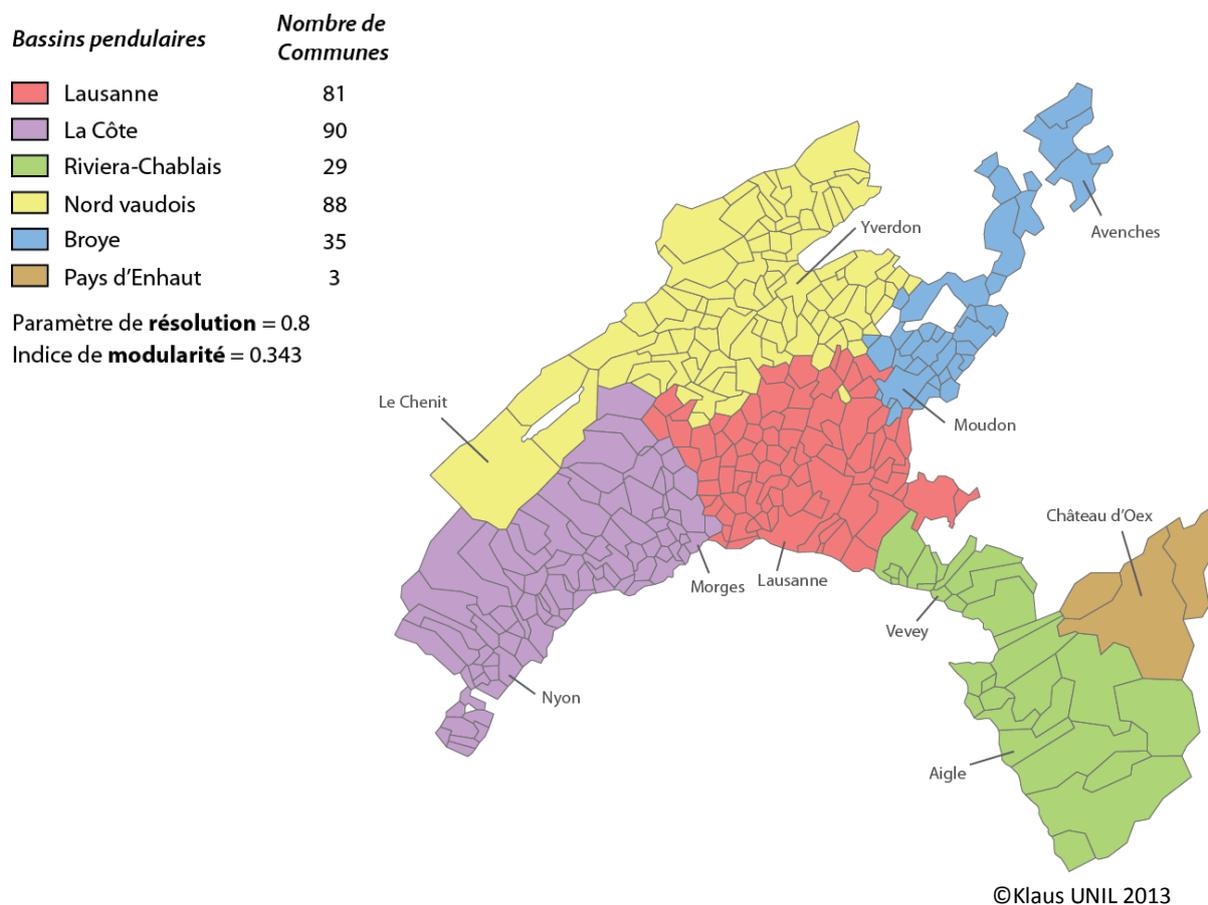


Figure IV.5. Les bassins d'emploi du canton de Vaud à partir des données pendulaires

Dans une configuration optimisée avec un paramètre de résolution qui vaut 0.8 (Fig IV.5), le réseau pendulaire se divise en six bassins d'emploi quasi continus géographiquement. Seule une petite commune (Peyres-Possens) du bassin du Nord vaudois est enclavée dans la communauté de Lausanne. Concernant l'indice de modularité, celui-ci s'élève à 0.343. Ce qui signifie que 34.3% des liens entre communes se font au sein même des communautés détectées par l'algorithme (contre 36.3% pour le réseau téléphonique de la figure IV.1). Les indices de modularités optimisés des réseaux téléphoniques et pendulaires sont donc assez proches avec un petit avantage pour le réseau téléphonique qui compte 2% de liens intra-communautaires en plus. Le partitionnement du réseau téléphonique est donc légèrement plus significatif que celui du réseau pendulaire.

Comparé au découpage optimal du réseau téléphonique (Fig IV.1), le réseau pendulaire compte deux bassins fonctionnels en moins : Morges et la vallée de Joux. Un résultat qui doit cependant être relativisé étant donné que ces deux communautés manquantes sont détectées lorsque le paramètre de résolution est abaissé à 0,6. De plus, l'indice de modularité obtenu avec ce paramètre est relativement proche du résultat optimal (0.340 au lieu de 0.343). Ce découpage alternatif permet ainsi de comparer l'étendue des bassins téléphoniques et pendulaires dans une configuration du canton de Vaud divisé en 8 communautés (Fig IV.6).

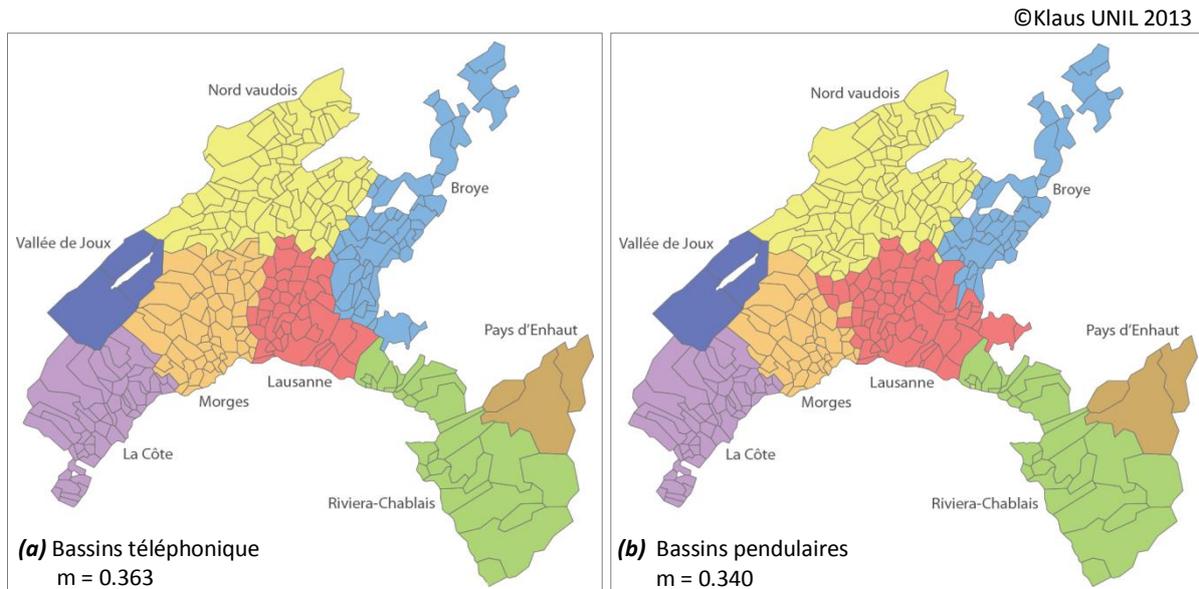


Figure IV.6. Comparaison des bassins téléphoniques (a) et pendulaires (b) avec 8 communautés

La similitude entre les partitionnements téléphoniques et pendulaires du canton de Vaud est évidente. Au total, 31 communes (9,5% des communes du canton) possèdent néanmoins une affectation communautaire différente lorsqu'on compare les deux découpages. Ces disparités s'observent principalement sur les frontières de la communauté de Lausanne avec ces voisines de Morges, du Nord vaudois et de la Broye. En effet, le bassin lausannois s'étend davantage sur la carte des bassins pendulaires avec une orientation est-ouest bien plus marquée que sur la carte des bassins téléphoniques. Une caractéristique « est-ouest » qui avait notamment été repérée sur la figure III.7 lors de l'analyse de l'effet de la distance sur les échanges pendulaires.

D'un point de vue général, l'influence de Lausanne sur sa périphérie est donc plus importante sur le réseau pendulaire que sur le réseau téléphonique. Une observation qui permet de confirmer les observations réalisées dans la comparaison topologique des parties « denses » des deux réseaux (Chap III.2.3).

IV.2 La région urbaine de Lausanne

Ayant comparé plusieurs délimitations du canton, nous proposons maintenant de discuter de la meilleure délimitation de la région urbaine de Lausanne à l'aide de flux téléphoniques. Dans un premier temps, nous délimiterons un périmètre externe basé sur les frontières administratives communales. Puis il s'agira, ensuite, d'analyser plus précisément les centralités urbaines à l'intérieur du périmètre en mettant en évidence l'aspect polycentrique de la région urbaine.

Le périmètre de la région urbaine de Lausanne délimité dans le cadre de ce travail pourra alors être comparé au périmètre de l'« agglomération » de Lausanne tel qu'il a été défini par l'OFS en l'an 2000.

IV.2.1 Délimitation de la zone : les bassins de vie Lausanne-Morges

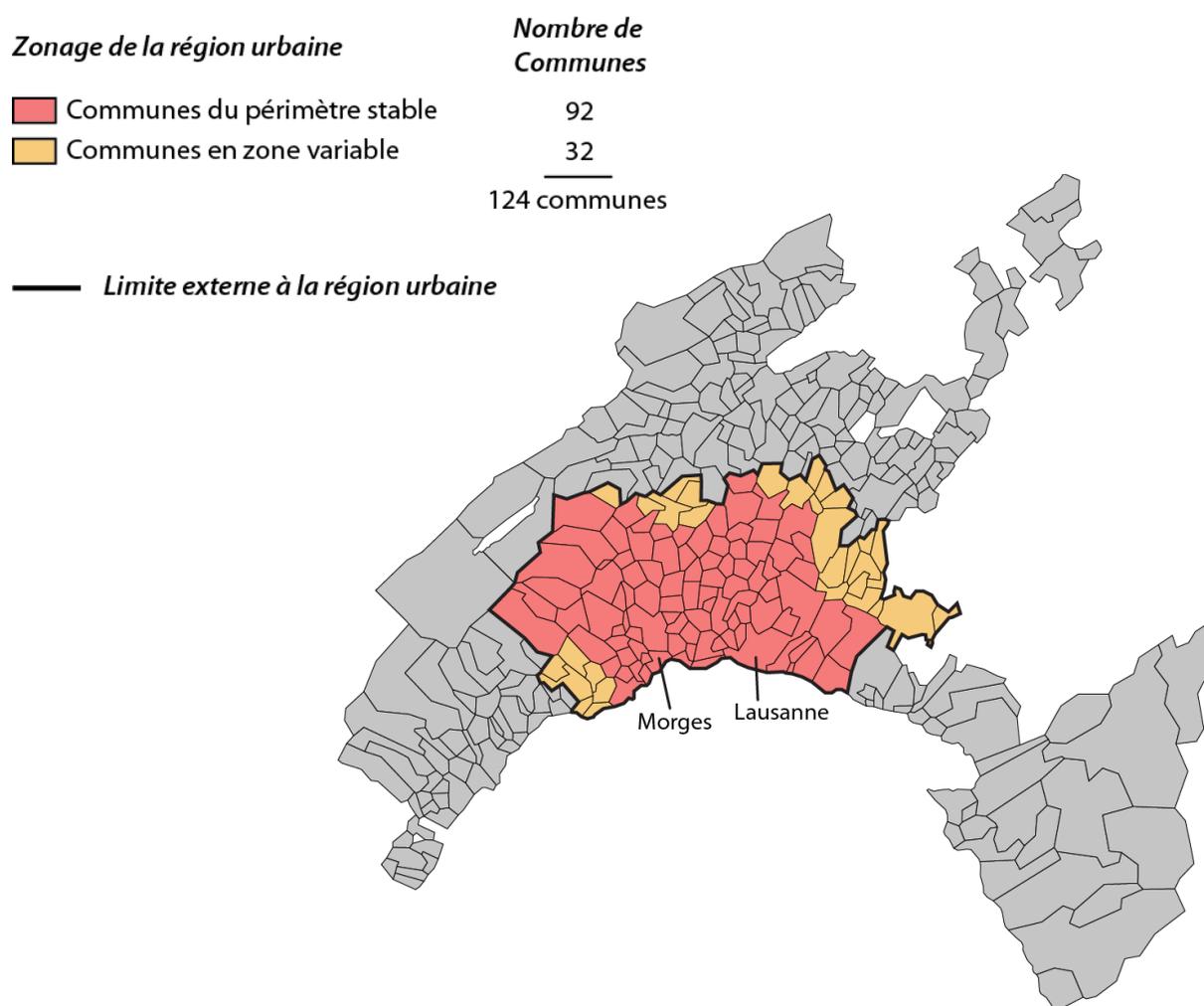
La délimitation du périmètre externe de la région urbaine de Lausanne se base principalement sur les résultats immédiatement précédents. Il est néanmoins nécessaire de s'interroger sur certains points et de réaliser certains choix quant à la délimitation précise de la zone d'influence de la ville de Lausanne.

Premièrement, les résultats obtenus dans la partie IV.1.1 ont montré qu'il existait des variations dans les frontières délimitant les bassins de vie, notamment celui de Lausanne (Fig IV.2 et Fig IV.3). En effet, selon le partitionnement réalisé sur le territoire vaudois, certaines communes périphériques sont parfois intégrées à la zone d'influence de Lausanne, alors que dans d'autres cas, ces mêmes communes sont intégrées à un bassin de vie voisin. Suite à ces observations, la première interrogation qui se pose quant à la délimitation de la région urbaine de Lausanne concerne la prise en considération, ou non, de ces communes périphériques situées entre deux bassins de vie.

La deuxième interrogation concerne l'intégration, ou non, du bassin de vie de Morges dans la délimitation de la région urbaine de Lausanne. En effet, dans la délimitation optimisée des bassins de vie à partir des données téléphoniques (Fig IV.1), la région de Morges se distingue par un bassin indépendant de celui de Lausanne. Toutefois, d'après les analyses réalisées sur la partie « dense » du réseau téléphonique (Fig III.18 et Fig III.21), la commune de Morges semble se comporter comme une centralité secondaire au sein d'un espace lausannois de type polycentrique. Cette problématique de l'influence de Lausanne sur des bassins de vie à caractère plus local peut également se poser pour la région du Gros-de-Vaud, qui émerge en tant que communauté indépendante dans la figure IV.4(b).

Les deux options évoquées reposent finalement sur des choix méthodologiques. Afin d'objectiver ces choix, il est nécessaire de revenir aux concepts initiaux à partir desquels nous avons défini la ville contemporaine en adoptant une vision extensive et polycentrique du fait urbain. Le choix s'est donc porté sur un périmètre englobant les deux bassins de vie de Lausanne et de Morges. De plus, en observant l'étendue du milieu bâti, il ne fait aucun doute que ces deux périmètres sont affectés par une urbanisation continue. Cet exemple démontre peut-être les limites d'une approche uniquement basée sur les relations fonctionnelles du territoire, l'aspect morphologique reste un paramètre indispensable à l'analyse du fait urbain.

Dès lors, la région urbaine de Lausanne se composerait de 124 communes divisées en deux périmètres distincts (Fig IV.7) : un périmètre « stable » regroupant les 92 communes qui ont été intégrées, dans chacun des partitionnements précédents, aux bassins de vie de Lausanne et Morges ; ainsi que d'une zone qualifiée de « variable » regroupant les 32 communes qui ont, dans certains cas, glissé vers des bassins de vie voisins (Broye, Nord Vaudois ou la Côte).



©Klaus UNIL 2013

Figure IV.7. Délimitation du périmètre de la région urbaine de Lausanne

IV.2.2 Centralités multiples : une région urbaine polycentrique ?

Les multiples centralités de la région urbaine de Lausanne peuvent ensuite être identifiées à l'intérieur du périmètre global défini précédemment (Fig. IV.7), en mettant en évidence les pôles principaux de son réseau de communication. Ce réseau « régionale » est simplement une sous-partie du réseau téléphonique « complet » (Fig III.11(a)), il se constitue de plus de 5200 liens reliant les 124 communes de la région urbaine. Les caractéristiques des liens sont donc les mêmes que précédemment : un lien représente un minimum de 3 appels sur la totalité des 3 mois et les liens sont valués et non-orientés.

La théorie des réseaux proposent de nombreux indices ayant pour but de mesurer la centralité des nœuds dans un réseau. Dans le cadre de cette analyse, nous utilisons la centralité « betweenness » (Freeman, 1979), un indice largement diffusé et utilisé dans le cadre de l'analyse des réseaux sociaux et économiques. Cet indice de centralité se base sur la notion du « plus court chemin » qui définit le nombre d'étapes minimales, ou le nombre de liens, pour relier tous les couples d'un graphe. Formellement, la « betweenness » b_v d'un nœud v est défini par la formule suivante :

$$b_v = \sum_{i \neq v \neq j} \frac{n_{ij}(v)}{n_{ij}}$$

Une formule dans laquelle le nombre de plus courts chemins qui passent par un nœud est rapporté au nombre de total de plus courts chemins reliant tous les nœuds du graphe deux à deux. La « betweenness » permet ainsi de juger du pouvoir exercé par une commune sur la transmission de l'information au sein du réseau : plus l'indice sera élevé et plus la commune exercera un rôle central dans le réseau.

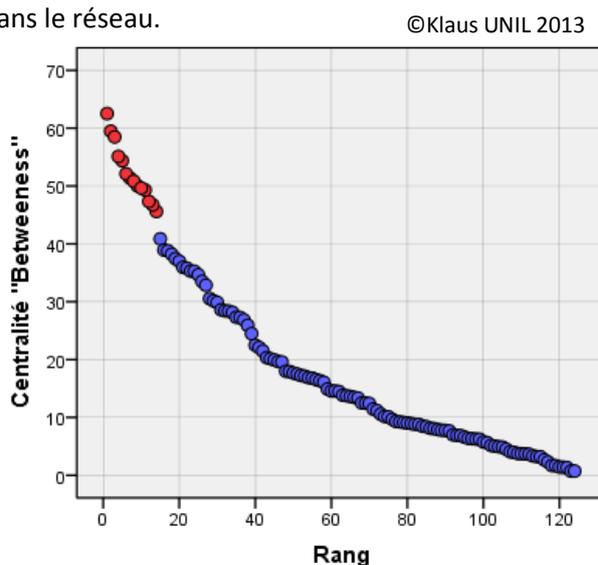


Figure IV.8. Centralité « betweenness » des communes de la région urbaine de Lausanne

©Klaus UNIL 2013

Commune	Rang	Centralité "betweenness"
Lausanne	1	62.5
Morges	2	59.5
Pully	3	58.5
Renens	4	55.1
Prilly	5	54.4
Penthalaz	6	52.1
Ecublens	7	51.4
Lutry	8	50.8
Le Mont-sur-Lausanne	9	50.0
Epalinges	10	49.6
Cossonay	11	49.3
Crissier	12	47.3
Bussigny-près-Lausanne	13	46.7
Echallens	14	45.6

Tableau IV.1 Classement des 14 communes les plus centrales (en rouge sur Fig IV.8)

La hiérarchie des centralités des communes (Fig IV.8) fait apparaître une distribution structurée en plusieurs paliers. Le palier supérieure (en rouge) se détache particulièrement bien de la distribution. Celui-ci regroupe les 14 communes les plus centrales au sein du réseau téléphonique de la région urbaine de Lausanne. Ces communes sont listées dans le tableau IV.1 et sont également mises en évidence en rouge sur la carte de la figure IV.9.

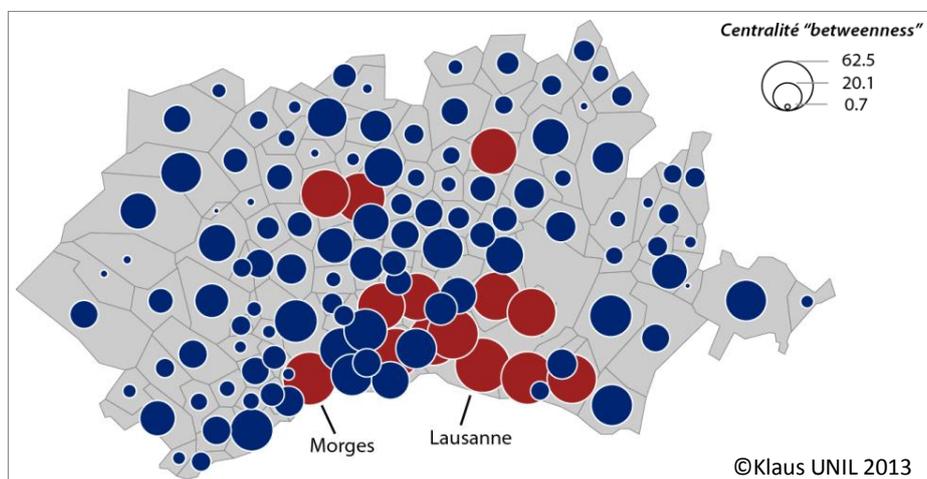


Figure IV.9. Centralité « betweenness » pour le réseau téléphonique des communes de la région urbaine de Lausanne et mise en évidence (en rouge) des 14 communes les plus centrales

Les 14 communes les plus centrales sont situées pour la plupart dans la périphérie directe de la commune de Lausanne, ainsi qu'entre les communes de Lausanne et Morges. Cependant, il est intéressant de constater les centralités élevées de 3 communes situées plus au Nord : Penthaz (rang 6), Cossonay (rang 11) et Echallens (rang 14) qui ont un rôle de polarité plus locale.

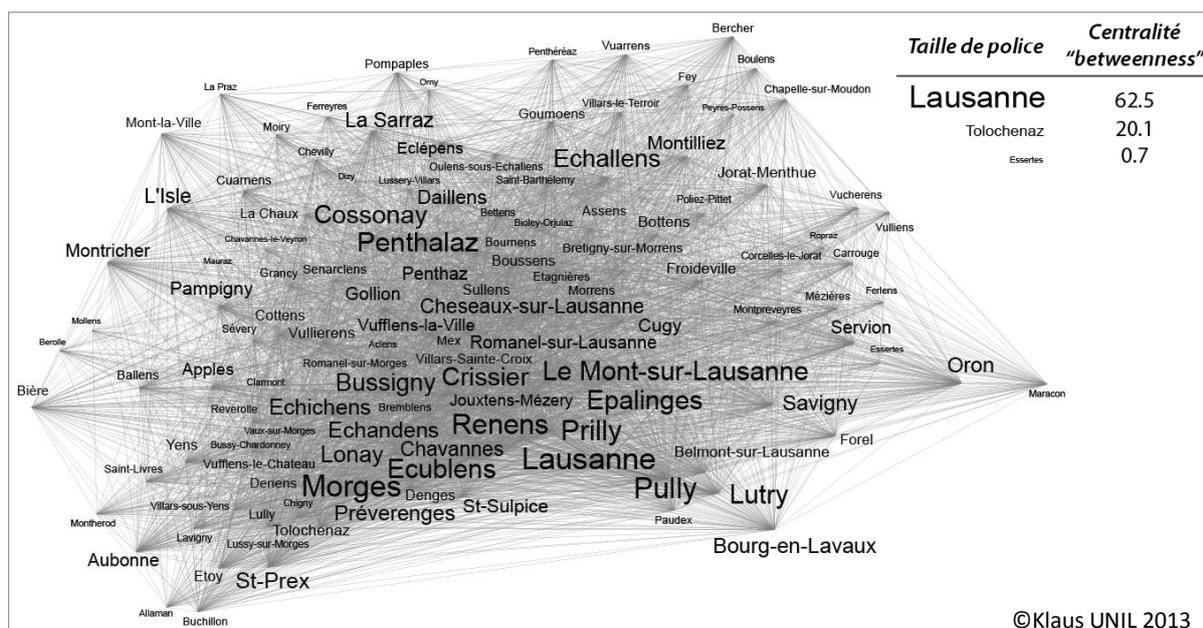


Figure IV.10. Réseau téléphonique entre les communes géo-localisées de la région urbaine de Lausanne et « nuage de noms » de taille proportionnelle à la centralité des communes

Afin de mieux identifier les multiples centralités, nous proposons la figure IV.10. Les pôles principaux, représentés par une taille de police élevée, se situent majoritairement dans un arc de cercle est-ouest allant de Pully à Morges en passant par Crissier au nord. Cette configuration géographique place ainsi la commune de Renens au centre de ce secteur fortement polarisant, tandis qu'au nord de la région, la commune de Penthalthaz se distingue particulièrement du reste.

La mesure de centralité « betweenness » est une mesure de centralité « globale » des nœuds (Rozenblat et Melançon, 2013) calculée pour chacune des communes sur le réseau de la région urbaine de Lausanne. Les nœuds voisins, à partir du moment où ils sont reliés, ont tendance à avoir des centralités similaires. Il est donc possible de régionaliser cette mesure en réalisant une interpolation spatiale grâce à la méthode du « kriegage » (Kanevski et Maignan, 2004).

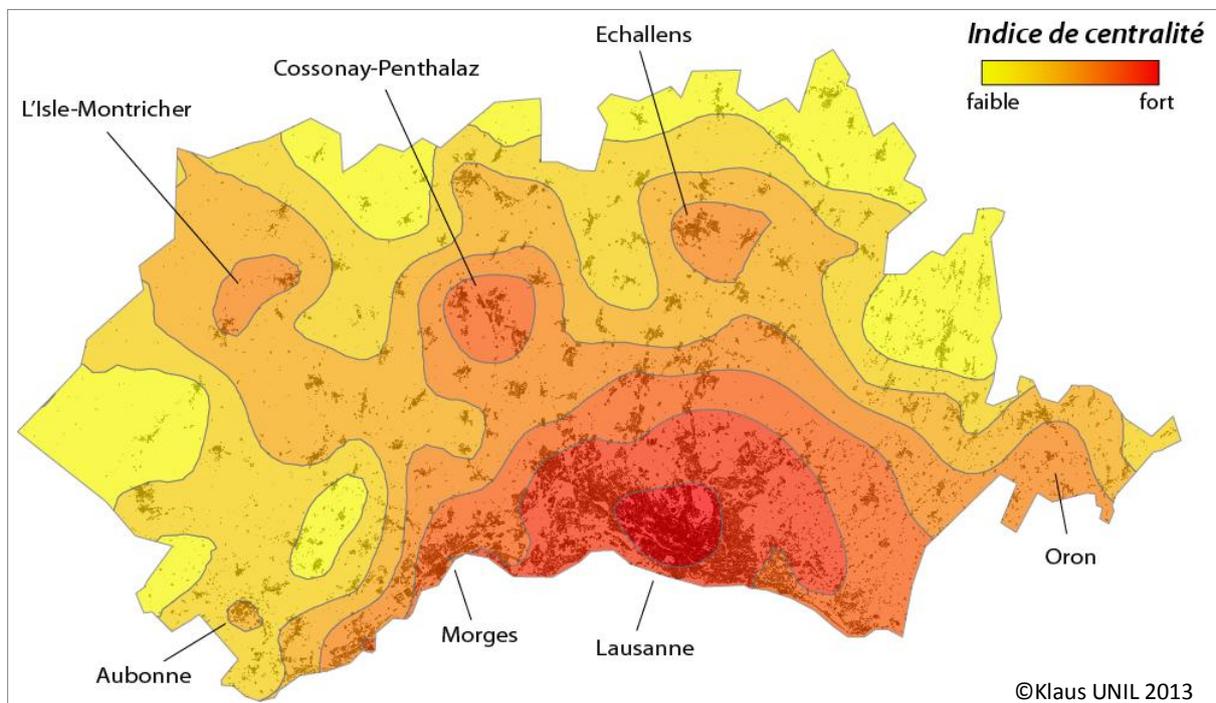


Figure IV.11. Interpolation spatiale sur l'indice de centralité « betweenness » des communes et domaine bâti de la région urbaine de Lausanne (source couche bâti : OFS, 2006)

Cette méthode permet de bien mettre en évidence les différentes polarités régionales (Fig IV.11). On constate que la région n'est pas uniquement structurée par un gradient centre-périphérie polarisé sur la commune de Lausanne. En effet, des centralités secondaires émergent en périphérie de l'arc de cercle principal: les communes de l'Isle et Montricher occupent notamment une position central au pied de Jura, Cossonay et Penthalthaz constituent une polarité relativement importante au nord de Morges, tandis que dans le nord de Lausanne, c'est la commune d'Echallens qui occupe un rôle central pour les villages alentours.

A une échelle plus locale, les communes d'Aubonne à l'ouest et d'Oron à l'est se distinguent également par leur polarité. Pour la commune d'Oron, il faut noter que cette centralité est très relative dans la mesure où la commune est issue d'une fusion entre plusieurs villages. Or si l'on considérait ces entités de manière indépendante, leur centralité serait sans nul doute amoindrie. Il en va de même pour la commune de Montilliez, située à l'est d'Echallens, et qui possède une centralité relativement élevée. Les fusions de communes peuvent par conséquent poser de sérieux problèmes lorsque des analyses géographiques sont réalisées à partir des maillages communaux, car la réalité villageoise d'un territoire n'est pas toujours représentée.

La visualisation de la figure IV.11 reste néanmoins une manière intéressante de mettre en évidence le caractère polycentrique de la région urbaine de Lausanne. De plus, cette représentation permet de superposer le résultat d'une approche fonctionnelle issue de la théorie des réseaux avec la morphologie construite de la zone urbaine. Or on constate un lien assez évident entre les fortes centralités issues des communications téléphoniques et les secteurs dans lesquelles l'emprise au sol du bâti est très élevées. Les indicateurs sont donc de nature différente, mais les densités sont comparables.

IV.2.3 Comparaison avec la délimitation « OFS 2000 » basée sur les flux pendulaires

La dernière mise-à-jour de la définition des « agglomérations » suisses réalisées par l'OFS remonte à l'an 2000. Une période de 12 ans s'est donc écoulée entre cette mise-à-jour et les données téléphoniques récoltées pour ce travail. Au cours de cette période, le paysage démographique du canton de Vaud a passablement évolué. La masse démographique s'est en effet accrue d'environ 114'000 individus pour atteindre une population de près de 730'000 habitants en 2012 (+18.5% depuis 2000) (Statistique Vaud, 2013).

Ajouté à cela, les comportements de mobilité ont également évolué. En Suisse Romande, la part des pendulaires inter-communaux aurait augmenté plus fortement que la croissance de la population, en passant de 57.2% en 2000 à 66.2% de la population active en 2010 selon les estimations du dernier relevé structurel réalisé en 2010 (Dessemontet, 2013).

Dès lors, avec une telle évolution de l'environnement sociodémographique, les délimitations urbaines réalisées par l'OFS en 2000 auraient sans doute un aspect quelque peu différent avec les données d'aujourd'hui. En plus de cela, le maillage communal du canton de Vaud a lui aussi évolué en diminuant de 384 communes en 2000 à 326 communes en 2012. Pour ces raisons, il peut paraître abusif de comparer notre délimitation « Flux téléphonique » à la délimitation « OFS 2000 ». Cependant, l'intérêt ne se trouve pas seulement dans la comparaison des résultats mais surtout dans la comparaison des méthodes.

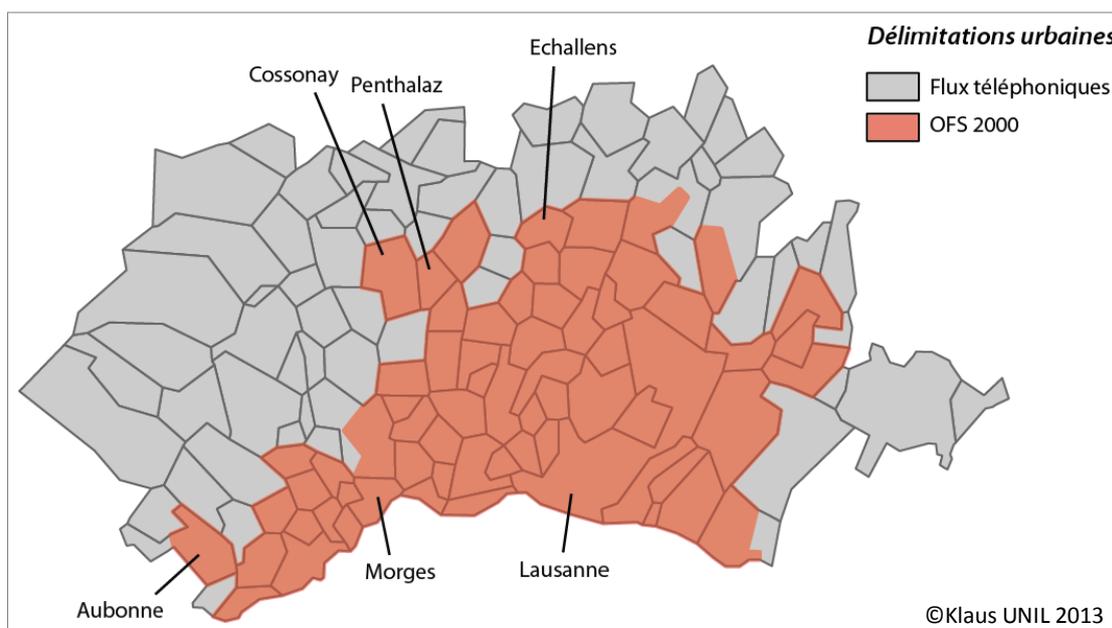


Figure IV.12. Comparaison des délimitations « Flux téléphoniques » et « OFS 2000 »

La visualisation de la figure IV.12 permet de comparer les deux espaces. Avec 124 communes (38% des communes vaudoises en 2012), la délimitation par les « Flux téléphonique » possède une étendue nettement plus grande que la délimitation « OFS 2000 » qui ne dénombre que 70 communes (18% des communes vaudoises en 2000). Cette disparité surfacique est particulièrement visible dans la partie nord-ouest de Morges.

Cette différence entre les deux espaces s'explique sans doute avant tout par la méthode utilisée. En effet, l'approche réseau, utilisée dans la délimitation par les flux téléphoniques, prend en compte l'ensemble des interactions entre les communes tandis que l'approche OFS se concentre sur les flux de pendulaires dirigés uniquement sur la commune de Lausanne. Cette manière de procéder néglige par conséquent les interactions transversales entre des polarités secondaires. Les zones d'influences des pôles secondaires tels que Morges, Cossonay, Penthaz ou Echallens ne sont ainsi pas considérés dans l'approche centralisatrice utilisée par OFS. C'est sans doute pour cette raison que la zone délimitée par l'OFS comprend nettement moins de communes.

L'importance des interactions transversales et des polarités secondaires est pourtant au centre de la conception actuelle de la ville contemporaine. En se limitant à une relation purement centre-périphérie, la définition « OFS 2000 » ne permettrait donc pas d'offrir une image de la réalité urbaine d'aujourd'hui, car l'importance des interactions périphériques est non-négligeable.

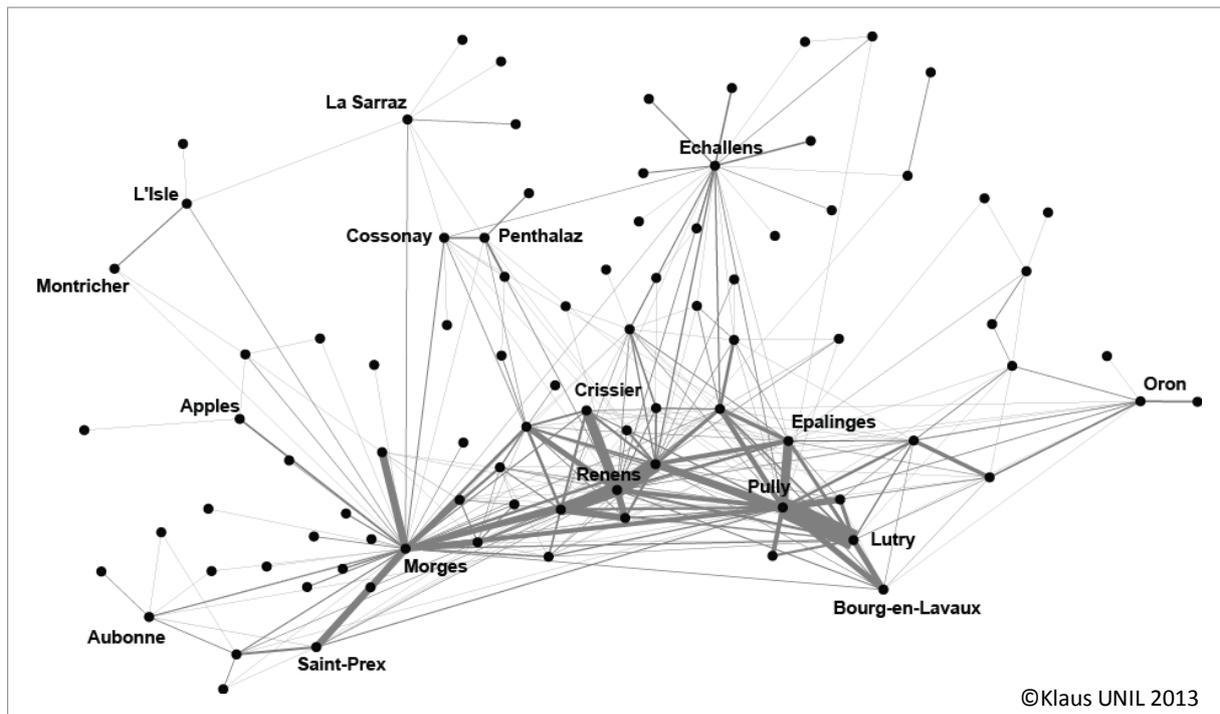


Figure IV.13. Relations transversales à la commune de Lausanne dans le réseau téléphonique « nettoyé » et géo-localisé de la région urbaine (sans Lausanne)

L'approche réseau offre ainsi l'avantage de mettre en évidence les centralités secondaires ainsi que leur zone d'influence, et cela sans définir de centralité *a priori*, car les centres importants émergent « naturellement » au sein du réseau.

V Synthèse générale

Les résultats obtenus dans les analyses empiriques des chapitres III et IV offrent un premier aperçu des possibilités offertes par les données téléphoniques associées à une approche « réseau » pour délimiter les villes selon une vision plus proche de la « réalité » urbaine contemporaine. Il s'agit à présent de discuter des contributions, des limites et des perspectives liés à ce type de délimitation sous l'angle des hypothèses posées dans la problématique (chapitre II).

V-1 Spécificités de la délimitation urbaine réalisée

L'étude a démontré qu'il était envisageable de délimiter la zone d'influence d'une ville en utilisant des données issues des communications de la téléphonie fixe. Ceci n'est pas la première tentative mondiale (également faite en Grande Bretagne (Ratti et al., 2010), et en Belgique (Blondel et al., 2010), mais toutefois la première application sur une ville suisse. La région urbaine de Lausanne ainsi délimitée montre des centralités multiples et des relations transversales. Deux éléments sont à l'origine des spécificités de la démarche de délimitation urbaine réalisée : les données, mais aussi la méthode réseau.

V.1.1 Les données téléphoniques : des interactions socio-économiques comparables aux données pendulaires

Les données des migrations pendulaires constituent généralement l'indicateur privilégié pour délimiter les zones d'influences des villes dans les pays du monde. Or les comparaisons multiples réalisées entre les données téléphoniques et les données pendulaires ont montré que ces deux indicateurs possèdent des propriétés statistiques et des structures relativement semblables, à la fois dans l'espace géographique, mais aussi dans l'espace des flux.

En effet, les distributions géographiques des flux téléphoniques et des flux pendulaires entrants et sortants des communes, ainsi que des flux intra-communaux, sont assez similaires (Chap. III.1.2). Une situation qui s'explique par le fait que les indicateurs sont tous deux liés aux masses démographiques et économiques des communes. Ajouté à cet effet de masse, la distance géographique joue également un rôle. Bien que son effet soit plus régulier sur la décroissance des interactions pendulaires, l'augmentation de la distance a également pour effet de faire diminuer les interactions téléphoniques entre les communes.

Les analyses de réseaux ont ensuite contribuées à confirmer la similitude entre données téléphoniques et pendulaires. Globalement, la morphologie des parties « denses » des réseaux, ainsi

que les communautés détectées sur ceux-ci étaient comparables (Chap. III.2.3). Il faut néanmoins relever une hiérarchisation légèrement plus faible du réseau téléphonique contribuant à mieux mettre en évidence certaines communautés périphériques à Lausanne (Morges, Broye, Pays d'Enhaut). Inversement, l'influence de Lausanne est plus importante sur le réseau pendulaire. Une observation confirmée par la zone d'influence plus large du « bassin d'emploi » de Lausanne comparé à son « bassin de vie » détecté sur le réseau téléphonique (Fig IV.6).

La comparaison des réseaux téléphoniques et pendulaires souligne également une dissymétrie des liens pendulaires par rapport aux liens téléphoniques plus symétriques (chap.III.2.3.1 et III.2.3.2) : le réseau téléphonique met ainsi en évidence les communes de type « résidentiel », alors que le réseau pendulaire met davantage en évidence les communes d'« emploi ». Des pôles d'emploi qui sont d'ailleurs à l'origine de l'asymétrie constatée entre les flux pendulaires entrants et sortants des communes et qui ont pour effet de concentrer les flux pendulaires entrants sur les grands axes de transports (Fig.III.4). A l'inverse, les flux téléphoniques entrants et sortants sont, eux, quasiment symétriques (Fig.III.2).

Malgré ces quelques différences, les propriétés dans l'espace des données téléphoniques et des données pendulaires sont relativement similaires. Pour cette raison, il semble clairement envisageable d'imaginer une utilisation des données téléphoniques à plus grande échelle dans le cadre de projet de définitions urbaines exigeant des données d'interactions.

V.1.2 L'approche réseau : une approche globale des interactions

Davantage que dans les données, la véritable originalité de la délimitation urbaine réalisée est plutôt à chercher dans la méthode. En effet, à l'inverse de la méthode « classique » (Fig I.8.a) utilisée communément dans les délimitations urbaines et qui a pour effet de prendre en considération uniquement les flux entre la commune-centre et les communes périphériques, la méthode « réseau » (Fig I.8.b) permet de considérer l'ensemble des interactions territoriales. Les liens, parfois très importants, pouvant exister entre des communes périphériques sont donc pris en compte par le modèle. Pour la région urbaine de Lausanne, ces importantes relations transversales sont notamment mises en évidence à la figure IV.13.

De par cette vision globale des interactions, l'approche réseau a pour effet d'intégrer à la délimitation des zones sous l'influence des centralités secondaires. Une caractéristique que la méthode « classique », utilisée notamment dans le cadre des délimitations « OFS 2000 », n'intègre pas en raison de son caractère mono-centré. Cette différence de méthode explique sans doute en partie la divergence constatée entre la délimitation de Lausanne réalisée dans cette étude et la délimitation de Lausanne selon la définition « OFS 2000 » (Fig IV.12).

L'approche réseau permet par conséquent d'apporter une alternative méthodologique à la problématique posée par la ville polycentrique. Une innovation intéressante pour les délimitations statistiques des villes.

V-2 Perspectives pour le renouvellement des définitions suisses

Dans le contexte de renouvellement des définitions urbaines en Suisse, les questions de l'accès aux données d'interactions et de l'intégration d'une conception polycentrique des villes font partie de la problématique du projet de redéfinition des « agglomérations ». Les possibilités ouvertes par les données téléphoniques et une approche réseau permettent ainsi d'imaginer de nouvelles perspectives dans le renouvellement des définitions en Suisse. Il s'agit ici de réfléchir à ces possibilités, et de considérer les points forts ainsi que les limites induites par une utilisation concrète des données et de la méthode utilisée dans le cadre de cette étude.

V.2.1 Les données téléphoniques : une information complémentaire sur les relations fonctionnelles

Dans les études préliminaires concernant l'élaboration d'une nouvelle définition des villes en Suisse, l'une des faiblesses constatées de la définition 2000 concernaient les relations fonctionnelles entre les espaces. En effet, il a été souligné que le fait de limiter les relations fonctionnelles aux liaisons domicile-travail des individus avait pour effet de négliger les flux de biens ou d'informations existant entre les entreprises ou les individus. Or les communications téléphoniques peuvent clairement être définies comme des flux d'information entre individus. De plus, dans un contexte où la disponibilité des données pendulaires est incertaine en raison des nouvelles méthodes de recensement de la population, l'utilisation de données téléphoniques pourrait s'avérer être une information très intéressante pour représenter les relations fonctionnelles de l'espace.

Concernant la disponibilité des données téléphoniques, il est évident que leur acquisition nécessiterait une collaboration avec des entreprises de télécommunication nationales. Cependant, ces données existent et ne nécessitent aucun recensement coûteux auprès de la population. Un atout considérable en comparaison notamment des données pendulaires.

Dans le cadre de cette étude, ce sont des données issues de la téléphonie fixe qui ont été utilisées. On peut cependant imaginer travailler également avec des données provenant de la téléphonie mobile en utilisant les localisations des adresses de facturation des individus lors des appels (voir Blondel et al., 2010), ou alors des techniques plus complexes de localisation des usagers aux antennes relais (Pulselli et al., 2008). Toutefois le recensement des appels mobiles aux antennes semble limité aux densités sur chaque antenne, les flux entre les antennes n'étant, à notre connaissance jamais

mesurées. C'est donc là une limite des données recensées qui vient sans doute moins d'un problème technique, que d'un manque d'intérêt des opérateurs. L'utilisation de données mobiles pourrait pourtant offrir une image plus actuelle des communications téléphoniques entre individus. Dans ce contexte des télécommunications privées, il faut néanmoins relever également la limite liée au respect de la sphère personnelle des individus qui pourrait sans doute faire émerger des oppositions quant à l'utilisation de telles données par une institution fédérale. Le respect de cette règle fondamentale peut cependant être surmonté par une anonymisation grâce à une agrégation des données à une échelle géographique communale ou quadrillée.

Afin de rendre l'utilisation des données téléphoniques plus efficiente, il pourrait être intéressant d'avoir la possibilité de distinguer les appels privés des appels concernant des relations professionnelles. Les différents contrats proposés par les opérateurs aux particuliers et aux entreprises pourraient peut-être permettre de faire une telle différenciation. Un aspect qui pourrait permettre de rendre moins opaque la signification d'une communication, et d'affiner ainsi l'analyse des relations fonctionnelles entre les espaces. Un objectif qui n'a malheureusement pas vraiment pu être atteint dans le cadre de cette étude en analysant les données téléphoniques selon les périodes de communications. En effet, il n'a pas été possible de distinguer, par exemple, des communes d'emploi, de communes de type résidentiel, en comparant les cinq périodes définies. Les structures géographiques et les centralités n'ont dans aucun cas démontré des variations très significatives.

V.2.2 L'approche réseau : pour une vision renouvelée des villes en Suisse

Les besoins concernant les nouvelles définitions urbaines en Suisse font état de la nécessité d'intégrer une vision polycentrique des villes afin de mieux représenter la réalité urbaine actuelle. Dans ce contexte, une approche réseau pourrait constituer une méthode appropriée pour faire émerger les centralités multiples d'une région urbaine.

Dans l'optique d'une définition harmonisée et renouvelée des agglomérations suisses, il est évident que l'approche réseau, ici appliquée de manière exploratoire devrait être précisée. Cependant, nous avons montré que cette approche permet de traiter les données d'interactions en offrant à la fois des outils statistiques basiques (application d'un seuil quantitatif, mesures de centralité de degré : nombre de liens), mais également des outils statistiques plus complexes (mesures de centralité « betweenness » : les plus courts chemins, détection de communautés au sein du réseau).

L'approche peut donc paraître, *a priori*, un peu trop technique pour des définitions qui ont pris aujourd'hui une dimension politique et pour lesquelles une certaine simplicité méthodologique s'impose. Cependant, l'approche réseau est flexible et permet par conséquent des utilisations variées qui sont de plus en plus accessibles aux non-spécialistes.

Table des illustrations

Chapitre I

Figure I.1. Polycentrisme dans le réseau des pendulaires suisses en 2000. Les cas de Genève et Lausanne-----	16
Figure I.2. Alternatives au développement des régions urbaines polycentriques -----	17
Figure I.3. AUM (en foncé) et AUF (en clair) dans la région Lémanique -----	24
Figure I.4. Typologie d'utilisation du sol : l'exemple des UMZ du Nord de la France-----	26
Figure I.5. Densité de connexion des téléphones mobiles dans l'aire urbaine de Milan-----	27
Figure I.6. La ville fractale théorique -----	29
Figure I.7. Illustration du processus itératif de dilation sur un tissu bâti -----	29
Figure I.8. Méthodes de délimitations des régions urbaines -----	30
Figure I.9. Polycentrisme dans le réseau des pendulaires à Lyon en 1999 -----	31
Figure I.10. Bassins téléphoniques en Grande-Bretagne-----	32
Figure I.11. Définition OFS et projets d'agglomération-----	35
Tableau I.1. Seuil de population communale par pays.....	19
Tableau I.2. Seuils pour les délimitations morphologiques.....	21
Tableau I.3. Les régions urbaines et leur subdivision dans 5 pays européen	22
Tableau I.4. Critères de définition des agglomérations suisses.....	33

Chapitre II

Figure II.1 Critères définis par Swisscom pour la construction de la base de données	43
Figure II.2. Format de la matrice origine-destination.....	44
Figure II.3. Nombre d'appels par jour pendant les mois d'octobre, novembre et décembre 2012	44
Figure II.4. Structure journalière moyenne des appels sur 3 mois (nombre et durée totale des appels).....	45
Figure II.5. Format de la matrice origine-destination.....	48
Tableau II.1. Statistiques moyennes des périodes de communication	46

Chapitre III

Figure III.1. Distribution des flux sortants des communes avant et après normalisation	52
Figure III.2. Nombre total d'appels entrants et sortants par commune sur les 3 mois.....	54
Figure III. 3. Relation entre les appels entrants et sortants des communes	54
Figure III.4. Nombre de pendulaires entrants et sortants.....	55
Figure III.5. Relation entre les pendulaires entrants et sortants des communes	55
Figure III.6. Relation entre l'intensité des échanges téléphoniques et pendulaires entre Lausanne et les autres communes vaudoise avec la distance qui les sépare.....	58
Figure III.7. Intensité des échanges téléphoniques et pendulaires entre Lausanne et les autres communes	59

Figure III.8. Intensité des flux inter-communaux en semaine et pendant le week-end	62
Figure III.9. Intensité des flux intra-communaux en semaine et pendant le week-end	63
Figure III.10. Relations entre le nombre d'appels entrants et sortants des communes pour les périodes de « semaine » et « vacances de Noël ».....	64
Figure III.11. Ecart des communes à la droite de régression	64
Figure III.12. Variations des communications pendant les périodes de semaine de travail et la période des vacances de Noël.....	65
Figure III.13. Réseaux téléphoniques et pendulaires du canton de Vaud	66
Figure III.14. Fréquence des liens téléphoniques et pendulaires en fonction de leur poids	68
Figure III.15. Diagrammes rang-taille sur les communes des réseaux téléphoniques et pendulaires	70
Figure III.16. Structure communautaire schématisée d'un réseau.....	71
Figure III.17. Indice de modularité pour 20 itérations sur la partie « dense » du réseau téléphonique.....	73
Figure III.18. Communautés de commune dans la partie « dense » du réseau téléphonique.....	75
Figure III.19. Communautés de commune dans la partie « dense » du réseau pendulaire	76
Figure III.20. Les communautés de Lausanne et Morges au sein de la « nébuleuse » centrale des réseaux.....	78
Figure III.21. Le polycentrisme lausannois par le réseau téléphonique (19 communes).....	78
Figure III.22. Le polycentrisme lausannois par le réseau pendulaire (17 communes)	79
Figure III.23. La communauté de la Riviera au sein de la « nébuleuse » centrale des réseaux.....	80
Figure III.24. Le polycentrisme de la Riviera par le réseau téléphonique (13 communes)	80
Figure III.25. Le polycentrisme de la Riviera par le réseau pendulaire (16 communes).....	81
Figure III.26. Communautés de commune dans la partie « dense » du réseau téléphonique « Horaire de journée »	84
Figure III.27. Communautés de commune dans la partie « dense » du réseau téléphonique « Horaire de soirée ».....	85
Figure III.28. Les communautés de Lausanne et Morges du réseau de l'« horaire de journée » et du réseau de l'« horaire de soirée ».....	86
Figure III.29. Le polycentrisme lausannois par le réseau téléphonique de l'« horaires de journée ».....	86
Figure III.30. Le polycentrisme lausannois par le réseau téléphonique de l'« horaire de soirée ».....	87
Tableau III.1. Corrélation entre le LOG du « nombre » et le LOG de la « durée » des appels in, out et loop	51
Tableau III.2. Statistiques descriptives des flux non-normalisés (in, out, loop).....	53
Tableau III.3. Coefficients de corrélations entre les LOG des flux in et out	53
Tableau III.4. Résultats des régressions entre les variables dépendantes (flux téléphoniques, flux pendulaires) et explicatives (population, emploi).....	56
Tableau III.5. Part des flux intra-communaux dans la totalité des flux	57
Tableau III.6. Coefficients de corrélations entre les LOG des flux téléphoniques et pendulaires in, out et loop...	60
Tableau III.7. Statistiques descriptives des réseaux téléphoniques et pendulaires	67
Tableau III.8. Statistiques descriptives des parties « denses » des deux réseaux.....	69

Tableau III.9. Variation dans le rang des communes du haut des hiérarchies.....	71
---	----

Chapitre IV

Figure IV.1. Les bassins de vie du canton de Vaud à partir des données téléphoniques.....	91
Figure IV.2. Disparités (comparé au découpage optimal) dans les bassins téléphoniques de modularités m : 0.361 (a), 0.360 (b), et 0.359 (c).....	92
Figure IV.3. Disparités (comparé au découpage optimal) dans les bassins téléphoniques de modularités m : 0.358 avec 6 bassins (a) et 0.360 avec 7 bassins (b)	93
Figure IV.4. Emergence de nouveaux espaces (comparé au découpage optimal) dans les bassins téléphoniques de modularités m : 0.360 avec 9 bassins (a) et 0.358 avec 8 bassins (b).....	94
Figure IV.5. Les bassins d'emploi du canton de Vaud à partir des données pendulaires.....	95
Figure IV.6. Comparaison des bassins téléphoniques (a) et pendulaires (b) avec 8 communautés	96
Figure IV.7. Délimitation du périmètre de la région urbaine de Lausanne	98
Figure IV.8. Centralité « betweenness » des communes de la région urbaine de Lausanne.....	99
Figure IV.9. Centralité « betweenness » pour le réseau téléphonique des communes de la région urbaine de Lausanne et mise en évidence (en rouge) des 14 communes les plus centrales	100
Figure IV.10. Réseau téléphonique entre les communes géo-localisées de la région urbaine de Lausanne et « nuage de noms » de taille proportionnelle à la centralité des communes	100
Figure IV.11. Interpolation spatiale sur l'indice de centralité « betweenness » des communes et domaine bâti de la région urbaine de Lausanne.....	101
Figure IV.12. Comparaison des délimitations « Flux téléphoniques » et « OFS 2000 »	103
Figure IV.13. Relations transversales à la commune de Lausanne dans le réseau téléphonique « nettoyé » et géo-localisé de la région urbaine (sans Lausanne)	104
Tableau IV.1 Classement des 14 communes les plus centrales.....	99

Références bibliographiques

- Alonso, W. (1964). *Location and land use. Toward a general theory of land rent*. Harvard : University Press.
- Anas, A., Arnott, R., & Small, K. A. (1998). Urban spatial structure. *Journal of economic literature*, 36(3), 1426-1464.
- Andersen, A. K. (2002). Are Commuting Areas Relevant for the Delimitation of Administrative Regions in Denmark? *Regional Studies*, 36(8), 833-844.
- Ascher, F. (2010). *Métapolis, où l'avenir des villes*. Paris: O. Jacob.
- Auber, D., Chiricota, Y., Jourdan, F., & Melançon, G. (2003). Multiscale visualization of small world networks. *In Proc. IEEE Symposium on Information Visualization* (p.75-81).
- Bailly, A. (dir). (2005). *Les concepts de la géographie humaine* (5e éd.). Paris: A. Colin.
- Barrat, A., Barthelemy, M., Pastor-Satorras, R., & Vespignani, A. (2004). The architecture of complex weighted networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(11), 3747-3752.
- Bassand, M. (2004). *La métropolisation de la Suisse*. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Batten, D. F. (1995). Network Cities: Creative Urban Agglomerations for the 21st Century. *Urban Studies*, 32(2), 313-327.
- Beauguitte, L., & Ducruet, C. (2011). *Scale-free, small-world networks et géographie* [Fiche détaillée]. Paris : Géographie Cités.
- Béguin, M., et Pumain, D. (2007). *La représentation des données géographiques: statistique et cartographie* (2e éd.). Paris: A. Colin.
- Benevolo, L. (1983). *Histoire de la ville*. Roquevaire: Parenthèses.
- Berry, B. J. (1964). Cities as systems within systems of cities. *Regional Science*, 13(1), 147-163.
- Blondel, V. D., Guillaume, J.-L., Lambiotte, R., & Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008(10).
- Blondel, V., Krings, G., & Thomas, I. (2010). Régions et frontières de téléphonie mobile en Belgique et dans l'aire métropolitaine bruxelloise. *Brussels Studies*, 42, 12.
- Bonnefoy, J.-L., Pumain, D., & Rozenblat, C. (1996). *Théorie des graphes et interactions non gravitaires. Spatial Analysis of Biodemographic Data*. Paris: John Libbey Eurotext-INED, 171-186.
- Borruso, G. (2003). Network Density and the Delimitation of Urban Areas. *Transactions in GIS*, 7(2), 177-191.
- Brown, L. A., & Holmes, J. (1971). The delimitation of functional regions, nodal regions, and hierarchies by functional distance approaches. *Journal of Regional Science*, 11(1), 57-72.
- Brunet, R., Reclus, G., & Boyer, J.-C. (1989). *Les villes européennes: rapport pour la Datar*. Paris : La documentation française.
- Bundesamt für Statistik (BFS). Sektion Räumliche Analysen (2007). Überarbeitung der Agglomerationsdefinition. Grundlagenstudie zur Bestandesanalyse und Bedürfnisabklärung. Neuchâtel : BFS.
- Caceres, N., Wideberg, J. P., & Benitez, F. G. (2007). Deriving origin destination data from a mobile phone network. *Intelligent Transport Systems, IET*, 1(1), 15-26.
- Calabrese, F., Dahlem, D., Gerber, A., Paul, D., Chen, X., Rowland, J., & Ratti, C. (2011). The connected states of America: Quantifying social radii of influence. In *Privacy, security, risk and trust (passat), IEEE third international conference on social computing (socialcom)*, 223-230.

- Castells, M. (1972). *La question urbaine*. Paris: F. Maspero.
- Castells, M. (1995). *The informational city: information technology, economic restructuring, and the urban-regional process*. Oxford : Blackwell.
- Castells, M. (1996). *The information age: economy, society and culture* (Vol. 1). Oxford : Blackwell.
- Castells, M. (2006). *La société en réseaux: l'ère de l'information (Nouv. éd.)*. Paris: Fayard.
- Cattan N., Pumain D., Rozenblat C, & Saint-Julien T. (1994). *Le système des villes européennes*. Paris: Anthropos.
- Cattan, N. (1995). Attractivity and internationalisation of major European cities: The example of air traffic. *Urban Studies*, 32(2), 303–312.
- Challas, Y. (1997). *La ville émergente*. La Tour d'Aigues: Editions de l'Aube.
- Champion, A. G. (2001). A Changing Demographic Regime and Evolving Poly centric Urban Regions: Consequences for the Size, Composition and Distribution of City Populations. *Urban Studies*, 38(4), 657-677.
- Choay, F. (2006). *Pour une anthropologie de l'espace*. Paris: Editions du Seuil.
- Clauset, A., Newman, M. E. J., & Moore, C. (2004). Finding community structure in very large networks. *Physical Review E*, 70(6).
- Claval, P. (1968). La théorie des villes. *Revue géographique de l'Est*, 8, 3-56.
- Commission fédérale de la communication (ComCom). (2012). *Rapport annuel de la ComCom 2012*. Berne : Confédération Suisse.
- Conseil fédéral (2001). *Politique des agglomérations de la Confédération*. Berne : Confédération Suisse.
- Coombes, M. G., Green, A. E., & Openshaw, S. (1986). An efficient algorithm to generate official statistical reporting areas: the case of the 1984 travel-to-work areas revision in Britain. *Journal of the operational research society*, 943-953.
- Coombes, M. (2000). Defining locality boundaries with synthetic data. *Environment and Planning A*, 32(8), 1499-1518.
- Corboz, A. (1992). *L'urbanisme du XXe siècle: esquisse d'un profil*. Genève : FAS.
- Da Cunha, A. & Both, J.-F. (2004). *Métropolisation, villes et agglomérations: structures et dynamiques socio-démographiques des espaces urbains*. Neuchâtel: OFS.
- Diener, R., Herzog, J., Meili, M., De Meuron, P., & Schmid, C. (2006). *La Suisse: portrait urbain*. Basel : Birkhäuser.
- D'Roza, T., & Bilchev, G. (2003). An Overview of Location-Based Services. *BT Technology Journal*, 21(1), 2027.
- Délégation à l'aménagement du territoire et à l'action régionale (DATAR) (2001). *Contrats d'agglomérations. Mode d'emploi*. Paris : DATAR.
- De Montis, A., Barthélemy, M., Chessa, A., & Vespignani, A. (2005). The structure of inter-urban traffic: A weighted network analysis. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 34(5) 905 -924.
- Derycke, P.-H. (1996). *Penser la ville: théorie et modèles*. Paris: Anthropos.
- Dessementet, P., Kaufmann, V., & Jemelin, C. (2010). Switzerland as a Single Metropolitan Area? A Study of its Commuting Network. *Urban Studies*, 47(13), 2785–2802.
- Dessementet, P. (2013, 23 mai). 608'229 pendulaires romands. *L'Hebdo. La Suisse à 10 millions d'habitants* [Blog]. Disponible sur : <http://www.hebdo.ch/les-blogs/dessementet-pierre-la-suisse-%C3%A0-10-millions-dhabitants/608229-pendulaires-romands> (consulté le 09.08.13)

- Dieleman, F. M., & Faludi, A. (1998). Polynucleated metropolitan regions in Northwest Europe: Theme of the special issue. *European Planning Studies*, 6(4), 365-377.
- Donnay, J.-P., Barnsley, M. J., & Longley P. A. (2001) *Remote sensing and urban analysis*. London: Taylor & Francis.
- Dujardin, C., Thomas, I., & Tulkens, H. (2007). Quelles frontières pour Bruxelles? Une mise à jour. *Reflets et perspectives de la vie économique*, 2, 155-176.
- Eagle, N., Pentland, A., & Lazer, D. (2009). Inferring Friendship Network Structure by Using Mobile Phone Data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(36), 15274-15278.
- Etat français (12 juillet 1999). *Loi no°99-586 relative au renforcement et à la simplification de la coopération intercommunale*. Disponible sur : <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000396397&dateTexte=&categorieLien=id> (consulté le 20.05.13)
- European Observation Network, Territorial Development and Cohesion (ESPON) (2005). *Potentials for polycentric development in Europe (ESPON 1.1.1)*. Bruxelles : Union Européenne.
- European Observation Network, Territorial Development and Cohesion. (2006). *The Role of Small and Medium-Sized Towns (ESPON 1.4.1)*. Bruxelles : Union Européenne.
- Farmer, C. J., & Fotheringham, A. S. (2012). Network-based functional regions. *Environment and Planning A*, 43(11), 2723-2741.
- Fen-Chong, J. (2012). *Organisation spatio-temporelle des mobilités révélées par la téléphonie mobile en Ile-de-France*. Thèse de doctorat. Université de Paris I Panthéon Sorbonne, Ecole doctorale de géographie, France.
- Fotheringham, A. S., Batty, M., & Longley, P. A. (1989). Diffusion-limited aggregation and the fractal nature of urban growth. *Regional Science*, 67(1), 55-69.
- Frankhauser, P. (1994). *La fractalité des structures urbaines*. Paris: Anthropos.
- Freeman, L. C. (1979). Centrality in social networks conceptual clarification. *Social networks*, 1(3), 215–239.
- Frick, R., Wüthrich, P., Zbinden, R., & Keller, M. (2004). La pendularité en Suisse. Neuchâtel: OFS.
- Gao, L., Ren, W., Zhao, J., Ma, L.-P., Chen, Z., & Cheng, H.-M. (2010). Efficient growth of high-quality graphene films on Cu foils by ambient pressure chemical vapor deposition. *Applied Physics Letters*, 97(18).
- Garreau, J. (1991). *Edge city: Life on the frontier*. New York : Anchor.
- Gleau, L., Pumain, D., & Saint-Julien, T. (1996). Villes d'Europe: à chaque pays sa définition. *Economie et statistique*, 294(1), 9–23.
- Gottmann, J. (1961). *Megalopolis: the urbanized Northeastern seaboard of the United States*. New York: The Twentieth Century Fund.
- Green, N. (2007). Functional polycentricity: a formal definition in terms of social network analysis. *Urban Studies*, 44(11), 2077–2103.
- Guérois, M., & Le Goix, R. (2000). La multipolarité dans les espaces métropolitains: Paris, Lyon, Marseille et Lille. *Données urbaines*, 3, 235-249.
- Guérois, M., & Paulus, F. (2002). Commune centre, agglomération, aire urbaine: quelle pertinence pour l'étude des villes? *Cybergeo: European Journal of Geography*. Disponible sur : <http://cybergeo.revues.org/3491> (consulté le 08.03.13)
- Guérois, M. (2003). *Les formes des villes européennes vues du ciel. Une contribution de l'image CORINE Land cover à la comparaison morphologique des grandes villes d'Europe occidentale*. Thèse de doctorat. Université Paris I, France.

- Guérois, M., & Pumain, D. (2008). Built-up encroachment and the urban field: a comparison of forty European cities. *Environment and planning. A*, 40(9), 2186.
- Guerois, M., Bretagnolle, A., Giraud, T., & Mathian, H. (2012). A new database for the cities of Europe? Exploration of the urban Morphological Zones (CLC2000) from three national database comparisons (Denmark, France, Sweden). *Environment and Planning-Part B*, 39(3), 439.
- Haggett, P., & Chorley, R. J. (1969). *Network analysis in geography*. London: Methuen.
- Halbert, L. (2012). *Quelles métropoles en Europe ? Des villes en réseau*. Paris: Documentation française.
- Hall, P. G. (2006). *The polycentric metropolis: learning from mega-city regions in Europe*. London : Sterling.
- Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE) (2010). *Définitions et méthodes - Aire urbaine*. [Page Web]. Disponible sur : <http://insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/aire-urbaine.htm> (consulté le 14.05.13)
- Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE) (2010). *Définitions et méthodes - Les bassins de vie 2012*. [Page Web]. Disponible sur : <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=zonages/bassin-vie-2012.htm> (consulté le 14.05.13)
- Jaillet, M.-C. (2004). L'espace périurbain : un univers pour les classes moyennes. *Esprit*, (303), 40-62.
- Jeannic, T. L. (1996). Une nouvelle approche territoriale de la ville. *Économie et Statistique*, 294(1), 25-45
- Jemelin, C. (2008). *Transports publics dans les villes: leur retour en force en Suisse*. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Juillard, E. (1968). *L'Europe rhénane: géographie d'un grand espace*. Paris: A. Colin.
- Kanevski, M., et Maignan, M. (2004). *Analysis and modelling of spatial environmental data*. Lausanne: EPFL Press.
- Kang, C., Zhang, Y., Ma, X., & Liu, Y. (2013). Inferring properties and revealing geographical impacts of intercity mobile communication network of China using a subnet data set. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(13), 1-18.
- Kansky, K. J. (1963). *Structure of transportation networks: relationships between network geometry and regional characteristics*. Chicago : University.
- Karlsson, C., & Olsson, M. (2006). The identification of functional regions: theory, methods, and applications. *The Annals of Regional Science*, 40(1), 1-18.
- Keersmaecker, M.-L., Frankhauser, P., & Thomas, I. (2003). Using Fractal Dimensions for Characterizing Intra-urban Diversity: The Example of Brussels. *Geographical analysis*, 35(4), 310-328.
- Krings, G., Calabrese, F., Ratti, C., & Blondel, V. D. (2009a). Scaling behaviors in the communication network between cities. In *Computational Science and Engineering, 2009. CSE'09. International Conference*, 4, 936-939.
- Krings, G., Calabrese, F., Ratti, C., & Blondel, V. D. (2009b). Urban gravity: a model for inter-city telecommunication flows. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2009(07).
- Lambiotte, R. (2008). *Finding communities at different resolutions in large networks*. London : Imperial College.
- Lambiotte, Renaud, Blondel, V. D., de Kerchove, C., Huens, E., Prieur, C., Smoreda, Z., & Van Dooren, P. (2008). Geographical dispersal of mobile communication networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387(21), 5317-5325.
- Lambooy, J. G. (1998). Polynucleation and economic development: the Randstad. *European planning studies*, 6(4), 457-466.
- Lancichinetti, A., & Fortunato, S. (2009). Community detection algorithms: A comparative analysis. *Physical review E*, 80(5).

- Lefebvre, H. (1974). *La production de l'espace*. Paris: Ed. Anthropos.
- Licoppe, C., Diminescu, D., Smoreda, Z., & Ziemlicki, C. (2008). Using mobile phone geolocalisation for 'socio-geographical' analysis of co-ordination, urban mobilities, and social integration patterns. *Tijdschrift voor economische en sociale geografie*, 99(5), 584–601.
- Mangin, D. (2004). *La ville franchisée: formes et structures de la ville contemporaine*. Paris: Ed. de la Villette.
- Minkowski, H. (1903). Volumen und Oberfläche. *Mathematische Annalen*, 57, 447–95.
- Moriconi-Ebrard, F. (1994). *Géopolis: pour comparer les villes du monde*. Paris: Anthropos.
- Musterd, S., & Kloosterman, R.C. (2001). The polycentric urban region: towards a research agenda. *Urban Studies*, 38(4), 623-633.
- Newman, M. E. J., & Girvan, M. (2004). Finding and evaluating community structure in networks. *Physical Review E*, 69(2).
- Newman, M. E. (2004). Analysis of weighted networks. *Physical Review E*, 70(5).
- Newman, M. E. J. (2004). Detecting community structure in networks. *The European Physical Journal B - Condensed Matter and Complex Systems*, 38(2), 321-330.
- Newman, M. (2005). Power laws, Pareto distributions and Zipf's law. *Contemporary Physics*, 46(5), 323-351.
- Newman, M. E. J. (2006). Modularity and Community Structure in Networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(23), 8577-8582.
- Newman, Mark E. J., Barabási, A.-L., & Watts, D. J. (2006). *The Structure And Dynamics of Networks*. Princeton : University Press.
- Nielsen, T. A. S., & Hovgesen, H. H. (2008). Exploratory mapping of commuter flows in England and Wales. *Journal of Transport Geography*, 16(2), 90–99.
- Nystuen, J. D., & Dacey, M. F. (1961). A graph theory interpretation of nodal regions. *Papers in Regional Science*, 7(1), 29-42. doi:10.1007/BF01969070
- Office fédéral de la statistique (OFS) (2011). *Le nouveau recensement de la population*. [Page Web] Disponible sur : <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/news/02.html> (consulté le 10.06.13)
- Office fédéral de la statistique (OFS) (2013). *Projet AggloSuisse*. [Page Web] Disponible sur : <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/regionen/11/pro/01.html> (consulté le 24.04.13)
- Office fédéral du développement territorial (ARE). (2000). *Activité urbaine dans le canton de Vaud*. Berne : ARE.
- Office fédéral du développement territorial (ARE). (2009). *Monitoring de l'espace urbain suisse. Analyses des villes et agglomérations*. Berne : ARE.
- Office fédéral du développement territorial (ARE). (2012). *Villes et agglomérations* [Page Web]. Disponible sur : <http://www.are.admin.ch/themen/agglomeration/index.html?lang=fr> (consulté le 15.04.13)
- Onnela, J.-P., Saramäki, J., Hyvönen, J., Szabó, G., Lazer, D., Kaski, K., & Barabási, A.-L. (2007). Structure and tie strengths in mobile communication networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(18), 7332–7336.
- Parr, J. (2004). The polycentric urban region: a closer inspection. *Regional studies*, 38(3), 231–240.
- Patuelli, R., Reggiani, A., Gorman, S. P., Nijkamp, P., & Bade, F.-J. (2007). Network analysis of commuting flows: A comparative static approach to German data. *Networks and Spatial Economics*, 7(4), 315–331.
- Peeters, D. (2011). *Delineation of the European Urban Areas as used in ESPON 2013*. Dublin : ESPON.

- Pulselli, R., Ramono, P., Ratti, C., & Tiezzi, E. (2008). Computing urban mobile landscapes through monitoring population density based on cellphone chatting. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 3.
- Pumain, D., Saint-Julien, T., Cattan, N., & Rozenblat, C. (1992). *Le concept statistique de la ville en Europe*. Paris : Office des publications officielles des Communautés européennes.
- Pumain, D. (2006). *Dictionnaire, la ville et l'urbain*. Paris: Economica.
- Pumain, D. (2010). *L'analyse spatiale (2e éd.)*. Paris: A. Colin.
- Pumain, D. (2012). Une théorie géographique pour la loi de Zipf. *Région et Développement*, 36, 31–54.
- Ramos, R. A. R., & Silva, A. N. R. da. (2007). A spatial analysis approach for the definition of metropolitan regions—the case of Portugal. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 34(1), 171-185.
- Ratti, C., Williams, S., Frenchman, D., & Pulselli, R. M. (2006). Mobile landscapes: using location data from cell phones for urban analysis. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 33(5), 727.
- Ratti, C., Sobolevsky, S., Calabrese, F., Andris, C., Reades, J., Martino, M., & Strogatz, S. H. (2010). Redrawing the map of Great Britain from a network of human interactions. *PLoS One*, 5(12).
- Ravenstein, E. G. (1885). The laws of migration. *Journal of the Statistical Society of London*, 48(2), 167–235.
- Reichardt, J., & Bornholdt, S. (2006). Statistical mechanics of community detection. *Physical Review E*, 74(1).
- Riguelle, F., Thomas, I., & Verhetsel, A. (2007). Measuring Urban Polycentrism: A European Case Study and Its Implications. *Journal of Economic Geography*, 7(2), 193-215.
- Rozenblat, C., & Pumain, D. (1993). The location of multinational firms in the European urban system. *Urban Studies*, 30(10), 1691–1709.
- Rozenblat, C., & Cicille, P. (2003). *Les villes européennes: analyse comparative*. Paris: La Documentation française.
- Rozenblat, C., & Tissandier, P. (2007). Commuter graphs and citie's polycentric cohesion. In *Proceedings of the 15 th European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography (ECTQG)*, Montreux, Switzerland, September (p. 7–11).
- Rozenblat, C. (2009). European urban polycentrism: A multiscale typology. *Geographica Helvetica*. 64(3).
- Rozenblat, C., et Melançon, G. (Eds). (2013). *Methods for multilevel analysis and visualisation of geographical networks*. Paris : Springer
- Schoumaker, B., Dal, L., & Poulain, M. (2000). L'effet de barrière dans la migration interne: la frontière linguistique en Belgique. *Régimes démographiques et territoires: les frontières en question*, 125–138.
- Schuler, M., Dessemontet, P., Joye, D., Perlik, M., & Geiser, A. (2005). *Les niveaux géographiques de la Suisse*. Neuchâtel : OFS.
- Schuler, M., Dessemontet, P., Jemelin, C., Jarne, A., Pasche, N., & Haug, W. (2007). *Atlas des mutations spatiales de la Suisse*. Zurich : NZZ Libro.
- Schuler, M., Perlik, M., & Pasche, N. (2004). *Non-urbain, campagne ou périphérie – où se trouve l'espace rural aujourd'hui? Analyse du développement de l'urbanisation et de l'économie en Suisse*. Berne : ARE.
- Statistique Vaud (2013). *Etat et structure de la population* [Page Web]. Disponible sur : <http://www.scris.vd.ch/Default.aspx?DomID=1956> (consulté le 09.08.13)
- Sieverts, T. (1997). *Zwischenstadt: zwischen Ort und Welt, Raum und Zeit, Stadt und Land*. Braunschweig: Vieweg.
- Smith, N. V. (1996). *The new urban frontier: gentrification and the revanchist city*. New York: Routledge.

- Sohn, J. (2005). Are commuting patterns a good indicator of urban spatial structure? *Journal of Transport geography*, 13(4), 306–317.
- Soja, E. (1992). Inside exopolis: scenes from Orange County. *Variations on a theme park: The new American city and the end of public space*, 94–122.
- Tannier, C., Thomas, I., Vuidel, G., & Frankhauser, P. (2011). A fractal approach to identifying urban boundaries. *Geographical Analysis*, 43(2), 211–227.
- Tannier, C., et Thomas, I. (2013, février). Urban Delineation. Part III : Morphological delineation of urban agglomerations [Présentation PowerPoint]. In *Proceedings of MGM Master Geographical Modelling*, Lausanne, Suisse.
- Thomas, I., Cotteels, C., Jones, J., & Peeters, D. (2012). Revisiting the extension of the Brussels urban agglomeration: new methods, new data... new results? *Belgeo. Revue belge de géographie*.
- Tissandier, P., Quang, T.T.P, et Archambault, D. (2013). Defining polycentric urban areas through commuting cohesion in France. *Methods for multilevel analysis and visualisation of geographical networks*, 11(2013), 189-206.
- Vandermotten, C., De Lannoy, W., Vermoesen, F., & De Corte, S. (1999). *Villes d'Europe: Cartographie comparative*. Bruxelles : Crédit Communal de Belgique.
- Watts, D. J. (1999). Networks, Dynamics, and the Small-World Phenomenon. *American Journal of Sociology*, 105(2), 493-527.
- Webber, M. M. (1964). *The urban place and the nonplace urban realm*. Pennsylvania : University.
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583-594.