



HAL
open science

Organisation spatio-temporelle des mobilités révélées par la téléphonie mobile en Ile-de-France

Julie Fen-Chong

► **To cite this version:**

Julie Fen-Chong. Organisation spatio-temporelle des mobilités révélées par la téléphonie mobile en Ile-de-France. Géographie. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 2012. Français. NNT: . tel-01004704

HAL Id: tel-01004704

<https://theses.hal.science/tel-01004704>

Submitted on 11 Jun 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université de Paris 1 Panthéon Sorbonne
Ecole doctorale de géographie

Organisation spatio-temporelle des mobilités révélées par la téléphonie mobile en Ile-de-France

Julie Fen-Chong

Thèse
pour obtenir le grade de Docteur de l'université Paris 1 en géographie
10 décembre 2012

Sous la co-direction de Denise Pumain et Arnaud Banos

Membres du jury :

Arnaud Banos, Chargé de recherche CNRS, ISC-PIF
Claude Grasland, Professeur à l'université de Paris 7
Françoise Lucchini, Maître de conférences (HDR) à l'université de Rouen, rapporteure
Denise Pumain, Professeure à l'université de Paris 1
Zbigniew Smoreda, Chargé de recherche, Orange Labs
Thomas Thévenin, Professeur à l'université de Bourgogne, rapporteur

A mon père,
Et à ma mère,

Remerciements

Je tenais à adresser mes remerciements à Françoise Lucchini, Claude Grasland et Thomas Thévenin pour avoir accepté de faire partie de ce jury de thèse, pour les différents échanges que nous avons pu avoir ainsi que la source d'inspiration qu'ils ont pu constituer pour mes propres travaux.

Je remercie aussi Zbigniew Smoreda de m'avoir donné la chance de pouvoir mener à bien ce projet dans le cadre d'une convention CIFRE et pour avoir tout fait pour faciliter mon quotidien au sein du laboratoire SENSE d'Orange Labs.

Parmi les membres du jury, deux personnes ont occupé un rôle particulier ces dernières années. Je tenais à vous remercier, Denise, d'avoir accepté de diriger ce doctorat, mais aussi pour votre confiance renouvelée depuis ma maîtrise de géographie en 2004. Merci d'avoir toujours été présente.

Ce travail de doctorat n'aura pas pu être mené à bien sans l'encadrement d'Arnaud Banos. Merci Arnaud, d'avoir accepté de me rencontrer au carrefour de la rue de Tolbiac et de la rue de la Glacière, je n'aurais pas pensé que ce barbu en lunettes de soleil m'apprendrait autant pendant les années qui suivraient. Merci d'avoir toujours répondu présent quoi qu'il arrive, d'avoir su aussi me brusquer quand il le fallait, d'avoir toujours été aussi exigeant. Et d'avoir mis autant de smiley dans tous nos échanges.

Ce travail de doctorat ne s'est pas fait sans l'aide matérielle, technique et intellectuelle de nombreuses personnes.

Je remercie Quentin et Elise pour leur aide. Je sais qu'il aura fallu beaucoup de patience à Quentin pour comprendre le langage d'un géographe et pour s'adapter à l'incertitude d'une recherche doctorale.

Merci à Ana Maria pour son aide, ses conseils, relectures, nos nombreux échanges et son amitié. J'ai beaucoup appris à tes côtés.

Merci à Hélène et Joël pour leur aide et leurs conseils.

Je voulais remercier aussi l'ensemble des laboratoires et assimilés où j'ai pu travailler durant ces dernières années :

Je remercie Frédérique, Mathieu et Maryse de m'avoir accueillie au sein du laboratoire Sense d'Orange Labs, où j'ai dû me familiariser avec l'engagement goffmannien, la culture web2.0, mais dont je garderais aussi le souvenir des débats politiques à la cantine sous l'égide de Jean Pierre, les pauses café avec Fabienne, des défilés de fourrure et de robes avec Véra et Christelle, des discussions sur la métrique de soi avec Anne Sylvie, du réconfort apporté par Fabien et Erwan dans les moments où rien n'allait, des pauses cafés, et pauses tout court avec les heureux habitants (ou anciens habitants) du bâtiment B, Jean-Samuel, Kevin, Vincent, Irène, Clément, Martin, Caroline, Alina, Thomas... ou encore ceux du bâtiment A, Bruno, Emile, Marie, Elodie, Marjorie, Anca, Jean-Marc, Valérie...

Un merci particulier à Marie et Fabienne pour leur présence lors des moments difficiles, à Jérémie pour m'avoir fait découvrir la gym suédoise et à ceux qui ont occupé le 419-420, Julien, Clara et Pauline, Pauline qui a rendu cette dernière année de thèse beaucoup plus sereine. Merci à toi de ton soutien, de tes petites attentions.

Je remercie aussi la grande famille de Géographie Cités, pour la bonne ambiance et l'aide toujours trouvées au 13 rue du four. Merci à Léna puis Nadine et Céline de m'avoir accueillie au sein du laboratoire, à Antoine, Julie et Saber pour leurs conseils, Martine pour m'avoir toujours aidée à préparer les déplacements, les doctorants et non doctorants, pour leur bonne humeur et leur dynamisme, pour tous ces apéros et leur soutien dans tous les moments : Hadrien, Clara, Sébastien, Marion, Thomas, Clémentine, Florent, Elfie, Guilhain, Jean-Baptiste, Pierre, Antoine, Elodie, Charlène, Mathieu, Solène.

Je remercie particulièrement Sébastien et Hélène pour avoir accepté de me relire et Robin pour son aide si précieuse pendant ces dernières heures de rédaction.

Comme c'était trop simple d'être partagée entre deux laboratoires, j'ai préféré aller me réfugier à l'institut des systèmes complexes où j'ai pu toujours trouver une atmosphère apaisante. Je serai toujours redevable à Daniel, Geneviève, Romain, Mathieu, Marcel, Pierre, Marlène, Stéphanie, Tam Kien, David, Thierry, Julien pour avoir constitué une présence rassurante et m'avoir nourrie de divers gâteaux au chocolat au goûter.

Je voulais aussi remercier les membres du laboratoire ThéMA qui m'ont accueillie en septembre dernier et m'ont fourni un cadre confortable et un emploi du temps me permettant de finir cette thèse.

J'ai une pensée particulière pour ces chercheurs qui ont essayé tant bien que mal de me faire comprendre les graphes dynamiques et les communautés : Antoine, Fabien, Camille et surtout, Jean Philippe. Merci pour tes conseils, pour tous ces articles que tu m'as fait lire, pour ton soutien, pour ton écoute et pour avoir su rendre des choses aussi compliquées accessibles. Enfin merci d'avoir systématiquement répondu au téléphone ou aux mails envoyés à 1h du matin avec toujours autant de bienveillance pendant la dernière semaine de rédaction.

Enfin, quand on est loin de chez soi, on se fabrique une famille, ou du moins on essaie de la remplacer par ses amis. Ce travail n'aura pas été possible sans le soutien de ces derniers : Nicolas, merci d'être toi.

Benjamin, pour avoir fait des pauses par les cafés de la rue de Tolbiac, sur son trajet BNF-Gentilly .

François et Hélène présents depuis tant d'années et qui m'ont apporté bien plus que de simples cours de musique.

Cécile, Alex, Guillaume, François, Sylvie, Amélie, Olivier, Bertrand, Muriel, Alex, Aurélien, Yann, Marion pour ces mails quotidiens et toutes ces soirées qui ont rythmé ma vie depuis des années.

Cathy et Carole pour toujours prendre des nouvelles.

De la grande famille ISC, je ne t'ai pas oubliée, Julie. Merci à toi d'avoir été là tout le temps depuis un an et demi, d'avoir toujours répondu présente et d'avoir partagé avec moi ces dernières semaines difficiles pour toutes les deux.

Ca fera dix ans que j'ai commencé à fréquenter la bibliothèque de l'institut de géographie, et je n'ai jamais regretté d'y avoir passé autant de samedis matin, car sans cela, je n'aurais pas eu la chance de te connaître Delphine. Je voulais te remercier d'avoir été présente quasiment tous les jours de cette fin de rédaction, malgré ta vie déjà bien remplie. Et parce que la vie c'est compliqué...

Remerciements

Enfin, voilà aussi bientôt dix ans qu'on se connaît, et dix ans pendant lesquels tu as toujours su trouver les mots justes, ou toujours su me bouger pour que j'évolue. Merci à toi Sébastien.

Enfin, j'aimerais remercier les membres de ma famille, de m'avoir encouragée depuis mon plus jeune âge. Mes oncles et tantes... Mes cousins dont le soutien a été très important ces derniers mois.

Merci à Maxime d'être comme un grand frère pour moi et à Stéphanie d'être une sœur exemplaire. Merci à Léandre de me faire sourire.

Merci à Julian d'avoir supporté ces derniers mois et d'être toujours présent.

Encore une fois, merci à mes parents pour leur courage, pour avoir toujours été un exemple et parce que je vous aime.

Introduction

La géographie utilise depuis longtemps des données chiffrées, mais la discipline s'est particulièrement intéressée à ces données, à leur construction et à leur traitement, depuis le développement des méthodes quantitatives. Ces données sont le plus souvent agrégées au niveau des circonscriptions administratives comme les communes, les régions ou les Etats. Les modèles d'analyse spatiale développés depuis les années 50 ont été conçus à partir d'observations faites à ces niveaux d'observation. Pourtant, le niveau auquel sont collectées et restituées les données a un impact sur l'information géographique produite. Ce problème du *Modifiable Areal Unit Problem* (Openshaw, 1984) est bien connu et étudié afin de rendre compte de la diversité des phénomènes observés en fonction du niveau d'analyse.

Dans l'histoire de la discipline, sous l'impulsion, d'abord de spécialistes de modèles des comportements spatiaux (Bocquet-Appel, Courgeau et Pumain, 1996), puis des géographies plus qualitatives, des enquêtes et des observations à l'échelle individuelle ont été développées. Ces dernières ont permis de s'intéresser de plus près aux stratégies des acteurs, au vécu des personnes, aux représentations et pratiques individuelles de et dans l'espace géographique. Co-existent ainsi deux niveaux d'observation et d'analyse géographique : le niveau agrégé, permis par de grandes quantités de données collectées par les différents organismes officiels et le niveau individuel accessible uniquement par l'enquête de terrain, davantage qualitative.

De nombreux auteurs insistent depuis longtemps sur la nécessité de connecter ces deux niveaux. Parmi eux, les modélisateurs arrivent à réunir ces deux niveaux dans des modèles explicatifs (Courgeau, 2004) ou dans des modèles de simulation (Bonney, Bousquet et Rouchier, 2001).

Un des grands enjeux de la géographie contemporaine est en effet de dépasser ces oppositions entre niveau individuel et niveau macro-géographique. Comment dépasser cette opposition en travaillant à des échelons individuels ou géographiques très fins mais en essayant de déduire des règles et des généralisations qui permettent d'interpréter le fonctionnement et l'évolution des territoires ?

Certains chercheurs essaient de résoudre cette question par des modélisations en simulant les interactions à l'échelle microscopique (Banos, Boffet-Mas, Chardonnel, et alii, 2010) qui produisent des structures à l'échelle macro-géographique tandis que d'autres chercheurs essaient de s'emparer de grandes masses de données individuelles apparues récemment, par le biais des réseaux sociaux ou par des capteurs¹ pour gagner en masse d'information ce qui ne peut être appréhendé par une finesse d'investigation.

Un certain nombre de données numériques produites suite à des évolutions des usages des technologies de l'information et de la communication permettent d'envisager cette approche

¹ Des outils techniques permettant d'enregistrer des informations : comme les GPS, mais aussi des accessoires comme les montres équipées de capteurs environnementaux etc...

(Reades, Calabrese, Sevtsuk, 2007; Aguiton, Cardon, Smoreda, 2009).

- *Des données individuelles disponibles pour les chercheurs*

L'apparition récente de masses de données exploitables par la géographie résulte de deux évolutions principales : d'une part la production volontaire de données par les individus, d'autre part la production passive de données par l'utilisation de services ou de capteurs qui enregistrent les pratiques des individus.

La banalisation des nouvelles technologies de l'information et de la communication et au sein de celles-ci, le développement et l'accessibilité des outils permettant à chacun de produire et de partager des informations sur Internet, ont rendu possible la création d'une énorme quantité de données individuelles. Aujourd'hui, la plupart des informations concernant les individus sont stockées dans des bases de données publiques ou privées, certaines de ces informations étant même collectées sans un accord explicite des individus. Les usagers des réseaux sociaux sur Internet donnent ainsi des informations les concernant à certaines applications. Ces informations, et parmi elles parfois des informations relatives à des localisations, sont collectées et stockées par les propriétaires des applications.

En parallèle, se sont développés de nombreux capteurs permettant d'enregistrer avec précision les localisations des individus : GPS, téléphones portables, capteurs bluetooth, capteurs RFID... Ces outils techniques dont les individus disposent dans leur vie quotidienne constituent des sources de données pour les usagers eux-mêmes, mais aussi pour des tiers comme les opérateurs, les publicitaires et les chercheurs. Ces données de position permettent d'appréhender la mobilité des individus avec une précision spatiale et temporelle qui n'était jusqu'alors pas accessible aux chercheurs.

La possibilité d'avoir accès à de telles quantités de données suscite à la fois émerveillement et inquiétude : émerveillement parce qu'elle permet d'élaborer potentiellement de nouvelles connaissances à partir d'une quantité d'information colossale, inquiétude parce que l'utilisation de telles données collectées au niveau individuel peut donner lieu à de nombreuses dérives si elle n'est pas réglementée et si les droits individuels ne sont pas protégés.

Se pose alors une question essentielle qui est celle de la régulation de la collecte de ces informations et de leur utilisation par des tiers. En effet, les données individuelles sont au cœur d'un débat qui englobe non seulement ces données individuelles collectées par les opérateurs d'Internet, mais aussi par les opérateurs de services et par les institutions publiques. La préservation de la confidentialité des informations personnelles est un des enjeux de l'utilisation des technologies de l'information et de la communication. Cette question relève à la fois de la législation et de la régulation par les autorités de cette collecte de données personnelles mais aussi d'une prise de conscience pour les usagers de leur exposition possible

via l'utilisation de ces technologies.

Ces grandes quantités de données sont utilisées non seulement par des géographes, mais aussi par des chercheurs d'autres disciplines, plus habitués à gérer de telles masses de données imparfaites. Ainsi, la disponibilité des données géolocalisées concernant des pratiques individuelles a amené des artistes comme Eric Fischer² à produire des visualisations de ces données, mais aussi des physiciens à rechercher des régularités dans les mobilités humaines (Candia, González, Wang et alii 2008 ; González Hidalgo, Barabási , 2008 ; Song, Qu, Blumm et alii, 2010). La disponibilité des données a aussi permis aux géomaticiens de s'intéresser plus particulièrement au mouvement des objets mobiles (Andrienko et Andrienko, 2006 ; Etienne, 2011). Ces disciplines apportent chacune des questionnements et des méthodes qui leur sont propres et qui viennent enrichir le champ de recherches autour de la mobilité.

Nous nous situons donc à un carrefour, carrefour parce que de grandes quantités de données géographiques sont accessibles au chercheur, mais aussi à l'entrepreneur, au commercial et à l'utilisateur et que le traitement, la conservation et l'utilisation de ces données pose problème. En effet, l'information géographique est une construction répondant à une interrogation précise sur l'organisation de l'espace. La disponibilité des données et des outils de cartographie et d'analyse pourrait laisser penser que l'information géographique est immédiatement apportée par ces données. Il est pourtant essentiel de s'interroger sur le statut que prennent ces nouvelles données au sein du processus scientifique et sur la manière avec laquelle un sens géographique peut leur être donné.

- *Le cas des données de téléphonie mobile*

C'est dans ce contexte que nous proposons d'analyser les mobilités à partir des données de téléphonie mobile. Celles-ci sont à la fois massives et numériques. Elles sont également particulières, car collectées par l'opérateur de téléphonie mobile au niveau de son réseau technique, avant tout pour des motifs techniques (raccorder le téléphone portable à l'antenne-relais la plus proche). Elles fournissent une information de localisation, dans la mesure où elles comportent l'identifiant de l'antenne-relais à laquelle le téléphone est connecté en fonction de sa proximité à un moment donné. Elles permettent donc de localiser les téléphones portables des individus et de suivre au cours du temps une série de localisations de ceux-ci. Cette masse de données relatives aux localisations momentanées des individus peut être particulièrement utile pour étudier la mobilité au sein d'une vaste zone urbaine comme l'espace francilien. Certes, la mobilité est un phénomène polymorphe et dont les approches sont multiples, tant en termes des thèmes abordés (mobilités de loisirs, mobilités commerciales) que des méthodes (enquête ethnographique suivant des groupes de personnes

2 <http://www.flickr.com/photos/walkingsf/sets/72157624209158632/>

mobiles, reconstitution des programmes d'activité des individus à partir d'enquêtes...). Mais dans un premier temps, notre travail s'articulera principalement autour de l'inscription spatio-temporelle des mobilités, telles qu'elles sont mesurées par des masses de données apportées par la téléphonie mobile, au niveau de la région francilienne.

L'objectif d'une telle recherche est de montrer comment ces sources de données, qui ne sont a priori pas collectées dans le but de servir l'analyse du territoire, peuvent être utilisées pour révéler l'organisation territoriale des mouvements. Dans un contexte plus large, il s'agit de montrer comment les mobilités individuelles, saisies à l'aide de données de téléphonie mobile, peuvent créer une ou des organisations du territoire.

Les mobilités individuelles recouvrent en effet de nombreux aspects de la vie individuelle et sociale, qu'il s'agisse des modes de transport, des chaînes de déplacement ou des motifs de déplacement. Elles ont connu de profondes évolutions au cours des dernières décennies avec la généralisation de l'automobile puis l'individualisation des modes de vie, l'utilisation des outils de communication comme le téléphone aidant à désynchroniser les emplois du temps. Les individus ont désormais des formes de mobilité parfois très complexes, enchaînant les déplacements et ne se limitant plus dans leur grande majorité à la seule navette domicile-travail. Mais les données et les outils existants sont mal adaptés pour saisir ces évolutions, car ils ne permettent guère de saisir l'hétérogénéité des pratiques et surtout des échelles spatio-temporelles en jeu.

Les données utilisées pour analyser les mobilités sont principalement issues de la science des transports, et leur méthodologie de collecte a été mise en place dans les années 1960 pour répondre à des problématiques de gestion de flux davantage que pour comprendre la complexité des mobilités individuelles. Dans ce contexte, où les données collectées par les organismes traditionnels font défaut, les données géolocalisées issues des utilisations multiples des technologies de l'information et de la communication semblent apporter de bonnes opportunités de connaissances nouvelles. Elles permettent de travailler à une autre résolution spatiale ou temporelle, donnant ainsi une autre image des mobilités diurnes, voire nocturnes, mais aussi de sous-populations comme les visiteurs étrangers, par exemple.

- *La construction des approches spatio-temporelles en géographie*

La géographie, bien que science de l'espace et du territoire, s'appuie parfois également sur le temps pour comprendre les processus hérités ou en cours et les évolutions. La prise en compte des deux dimensions que sont l'espace et le temps, bien qu'au cœur de l'analyse des phénomènes géographiques, soulève de nombreuses questions méthodologiques et théoriques : du point de vue de la formalisation, de la structuration mais aussi de la représentation de ces informations (Cheylan, 2007). L'articulation entre ces deux dimensions

est avant tout conceptuelle (Thévenin, 2010), les solutions techniques existantes n'étant pas encore satisfaisantes. La disponibilité de données nouvelles comme celles de téléphonie mobile vient pourtant enrichir les problématiques liées à l'analyse des phénomènes spatio-temporels.

En pratique, les objets spatiaux et les objets temporels sont souvent pris en compte de manière séparée. Les approches classiques sont le plus souvent centrées sur le territoire et servent l'hypothèse de la contraction historique de l'espace-temps (Janelle, 1969). Le temps sert alors de support à des mesures d'accessibilité ou d'interaction.

A contrario, d'autres approches sont centrées sur les individus depuis la *Time-geography* de T. Hägerstrand, et utilisent le temps dont disposent les individus, non pas comme un cadre mais comme une des variables explicatives de leurs pratiques de l'espace (Chardonnel, 2001). Le temps explicatif est aussi le temps long des processus (Braudel, 1949 ; Grataloup, 2007). L'organisation du territoire s'explique en effet par une longue évolution. Les données manquent pour expliquer de tels processus et les chercheurs ont souvent besoin de simuler ces derniers, comme c'est le cas avec les modèles de simulation des mobilités individuelles à échelle micro comme les modèles TRANSIMS, *Transportation Analysis and Simulation System* (Smith, Beckman, Baggerly et alii, 1995), ou MIRO, Modélisation Intra-urbaine des Rythmes Quotidiens (Banos et alii, 2010) ou les modèles de simulation de l'évolution des villes à échelle méso avec le modèle SIMPOP (Bretagnolle et Pumain, 2010).

L'analyse des données de téléphonie mobile repose sur des observations individuelles à micro-échelle mais pour des raisons éthiques et méthodologiques leur exploitation ne peut prendre sens qu'à méso-échelle comme cela sera illustré dans cette thèse.

Sur le plan méthodologique, les recherches n'en sont qu'à leurs débuts. Un important investissement est nécessaire pour construire du sens géographique à partir de ces données pour plusieurs raisons :

- l'exploitation de telles quantités de données demande un partenariat étroit avec des spécialistes en informatique,
- ces données ne sont pas construites dans une finalité de recherche. Leur configuration interne obéit à des exigences techniques ou comptables et exige des traitements et des approximations spécifiques pour produire des réponses aux questions des chercheurs d'une discipline donnée.

La géovisualisation est la solution que nous avons choisi d'utiliser pour exploiter des grandes masses de données spatio-temporelles et tenter de faire émerger les processus sous-jacents aux mobilités individuelles. Elle a permis de s'intéresser aux processus spatiaux, mais aussi à leur temporalité, une temporalité dont les modalités de prise en compte sont encore indéfinies.

Représenter le changement nous paraît une des meilleures manières de l'appréhender. Les objets spatio-temporels comportent plusieurs dimensions : spatiale ou géométrique, attributaire et temporelle. Leur combinaison peut évoluer au fil du temps. Représenter un objet spatio-temporel en mouvement, c'est prendre en compte ces trois dimensions et mesurer leur co-évolution : parfois seule une des dimensions peut varier, parfois les trois changent simultanément, ce qui explique la diversité des objets spatio-temporels. Par exemple, s'agissant de parcelles appartenant à des espaces identifiés comme urbains, périurbains ou ruraux (Thévenin, 2010 ; Langran et Chrisman, 1988), le changement qui intervient au cours du temps peut concerner aussi bien le type de parcelle que sa forme géométrique.

La géovisualisation nous a permis d'explorer certaines constructions possibles à partir des données de téléphonie mobile et de montrer à travers elles, que ces données permettaient de vérifier la relation entre l'organisation de l'espace urbain et les mobilités. L'analyse exploratoire et la visualisation ont permis d'aider à la construction d'une chaîne de traitement de l'information. C'est par des va-et-vient entre ces étapes de construction des objets géographiques à partir des données brutes et les étapes de représentation et d'analyse qu'il a été possible de progresser tout au long de ce travail.

Nous avons choisi d'analyser ce type d'information dans un cadre vaste et temporellement cohérent. La région Ile-de-France nous est apparue, à ce titre, comme un espace d'étude particulièrement pertinent.

- *L'Ile-de-France, comme terrain d'étude*

La région Ile-de-France est une région fortement polarisée par l'agglomération parisienne. Du fait de sa grande dimension et de la forte organisation de ses structures socio-spatiales (Saint-Julien, Le Goix, 2007), c'est un terrain d'études privilégié pour approfondir la question de la relation entre mobilités individuelles et organisation de l'espace urbain. La structuration des mobilités individuelles y révèle en partie les formes d'organisation du territoire et permet d'appréhender le passage progressif d'une forme d'organisation centralisée à une forme d'organisation polycentrique (Berroir, Mathian, Saint-Julien, 2007). En effet, c'est parce qu'elles structurent le territoire par les relations qu'elles créent entre ses différents éléments, que les mobilités permettent de comprendre le fonctionnement métropolitain. A l'inverse, il existe des structures qui influent sur les formes de mobilité, c'est le cas de l'organisation des réseaux de transports, notamment du réseau routier, qui, par son efficacité sur les longues distances et dans les relations de banlieue à banlieue favorise parfois l'utilisation de l'automobile (Genre-Grandpierre, 2007).

La région Ile-de-France comprenant plus de dix millions d'habitants, il est évident que les traces de téléphonie mobile des usagers franciliens représentent une quantité d'information

considérable, même lorsqu'elles proviennent d'un opérateur unique. A titre d'exemple, en une seule journée, le réseau de l'opérateur Orange compte entre 40 et 100 millions « d'évènements »³ pour l'Ile-de-France, concernant entre 2,7 et 4,3 millions de téléphones portables. Traiter une telle quantité de données relève aussi du défi méthodologique : il s'agit de construire une chaîne de traitement de l'information géographique, qui permette d'élaborer une information sur l'espace urbain à partir de données élémentaires brutes et hétérogènes. Ce type de travail n'a pu être possible que grâce à une collaboration étroite entre une entreprise, Orange, l'Université de Paris 1 et le laboratoire UMR 8504 Géographie Cités.

- *Une géographie appliquée dans un contexte interdisciplinaire*

Ce travail de doctorat doit beaucoup à la mise en oeuvre de méthodes spécifiques de traitement des données et à une interaction forte entre un laboratoire de Recherche et Développement, le laboratoire Sense (Sociology and Economics of Networks) d'Orange Labs, l'université de Paris 1 et l'UMR Géographie-cités. Cette interaction s'inscrivait dans une convention CIFRE (Convention Industrielle de Formation par la Recherche) entre ces trois structures.

Au cours de ces trois années, nous avons été accueillie par le laboratoire Sense, un laboratoire de Recherche et Développement d'une grande entreprise, spécialisé dans la sociologie des usages des technologies de l'information et de la communication. Ce laboratoire compte une quarantaine de chercheurs, de nombreux postdoctorants et doctorants répartis dans plusieurs disciplines concernées par les usages des télécommunications. Ce laboratoire s'est penché depuis plusieurs années sur la question de « l'open data » et des données produites par les usagers eux-mêmes et a décidé dans le cadre d'un projet de recherche intitulé « Urban Mobs » de s'intéresser plus particulièrement aux données de téléphonie mobile pour construire une information sur la ville.

- *Une collaboration avec le monde de l'ingénierie et des systèmes complexes*

En parallèle de cette collaboration avec une entreprise, les questions abordées dans ce doctorat n'auraient pas pu être traitées sans une collaboration interdisciplinaire facilitée par la structure de l'Institut des Systèmes Complexes de Paris Ile-de-France (ISC-PIF).

La mise en place de la chaîne de traitement des données de téléphonie mobile a fait l'objet de deux stages :

- Celui d'Elise Nimal d'une durée de deux mois réalisé dans le cadre d'une deuxième année d'école d'ingénieur en sciences de l'information géographique, qui a été hébergé dans les

³ Des évènements du réseau de téléphonie mobile donnant lieu à des enregistrements au sein des bases de données techniques, voir chapitre 3, p.87.

locaux du laboratoire Sense et qui a été financé par l'UMR Géographie-cités.

- Le deuxième stage d'ingénierie, celui de Quentin Lobbé, a duré cinq mois, et a été réalisé dans le cadre d'un stage de deuxième d'école d'ingénieur en informatique. Quentin Lobbé était hébergé par l'ISC-PIF et financé par l'UMR Géographie Cités.

Les deux étudiants ingénieurs-stagiaires ont participé activement et techniquement à la construction de la chaîne de traitement : préparation des données, extraction, construction des objets géographiques à représenter, visualisation.

L'ISC-PIF a constitué non seulement une structure d'accueil pour le stage de Quentin Lobbé mais aussi un lieu d'interactions et d'échanges avec des chercheurs issus de disciplines telles que la physique ou l'informatique, s'intéressant aux questions transversales aux systèmes complexes. Un système complexe est un « système composé d'un grand nombre de composants en interaction non linéaire » (Weisbuch et Zwirn, 2010). Ce type de système se retrouve dans de nombreuses disciplines, notamment en géographie, quand on considère l'ensemble des individus se mouvant au sein de l'espace urbain. Les systèmes complexes ont tous en commun certaines caractéristiques :

- Leur comportement global est difficile à prédire à partir de la somme des interactions individuelles. On parle alors d'émergence pour décrire ces comportements globaux.
- Ils sont capables d'auto-organisation.
- Ils peuvent connaître des transitions de phase (des changements brutaux modifiant toute la structure du système) lors de la variation d'un paramètre.

Une des sources de complexité au sein de la géographie vient justement des différentes échelles dans lesquels s'inscrivent les objets géographiques. Le changement d'échelle implique à la fois un changement des objets considérés mais aussi un changement des phénomènes expliquant ce qui est observé (Pumain, 2010).

Les interactions comme les déplacements de population sont aussi des caractéristiques des systèmes géographiques. L'analyse de ces interactions a pu bénéficier dans le cadre de cette thèse des réflexions récentes menées sur l'analyse des grands réseaux au sein des systèmes complexes (Newman, Barabási et Watts, 2006).

- *Cheminement de la thèse*

Dans l'objectif double de comprendre comment les données de téléphonie mobile peuvent révéler l'organisation spatio-temporelle du territoire francilien, et comment les mobilités individuelles s'inscrivent dans cette organisation, nous nous sommes penchés sur l'accès aux données individuelles (Chapitre 1). En effet, la production de ce type d'information, après avoir été longtemps un monopole d'Etat, est aujourd'hui beaucoup plus répandue et socialement distribuée, et de nombreuses autres données sont produites au quotidien et accessibles aux chercheurs.

Parmi ces données, celles relevant de la mobilité viennent enrichir une thématique de recherche en géographie qui disposait jusqu'alors de données agrégées (Chapitre 2). Pourtant la mobilité est un phénomène multiscalaire, résultant de l'interaction de millions d'individus, mais laissant observer à l'échelle de l'espace urbain des structures. Ces structures observées montrent l'influence de l'organisation du territoire sur les mobilités. Et à l'inverse l'observation des mobilités et de leurs évolutions permet de décrire les évolutions au sein de l'organisation du territoire telles que le passage d'un système territorial monocentrique à un système polycentrique.

Parmi les nouvelles données accessibles aux chercheurs, celles relevant de la téléphonie mobile constituent une source d'information stimulante (Chapitre 3). Ces données sont collectées par le réseau de téléphonie mobile pour des raisons techniques et présentent de nombreuses imperfections. Ces imperfections ne sont d'ailleurs pas l'apanage des seules données issues de capteurs, les archéologues utilisant par exemple des données très imparfaites pour produire une connaissance sur les occupations antérieures du territoire (de Runz, 2008). Malgré celles-ci, les données de téléphonie mobile s'avèrent être une source d'information sur les mobilités.

A partir des données de téléphonie mobile, il est ainsi possible d'explorer la mobilité ordinaire dans la région Ile-de-France (Chapitre 4). Pour explorer celle-ci il a d'abord fallu construire un prototype d'analyse exploratoire des données, produisant une série d'objets géographiques permettant de donner une image globale des mobilités à l'échelle de la région Ile-de-France.

La pertinence de telles données s'est trouvée renforcée dans le cas de l'analyse des pratiques des visiteurs étrangers en Ile-de-France (Chapitre 5). Jusqu'ici, la connaissance des pratiques spatiales des visiteurs étrangers restait incertaine, car les données d'enquête manquent et parce que cette population dont la mobilité s'inscrit hors du quotidien est censée posséder un comportement relativement aléatoire. Nous faisons l'hypothèse que la visualisation de leurs mobilités au sein de la région Ile-de-France pourra au contraire mettre en évidence les régularités de leurs pratiques de l'espace francilien.

Chapitre 1 : La production de données individuelles par des capteurs urbains

Avec la numérisation de l'information et les outils de l'Internet, une véritable rupture s'est produite dans les sciences géographiques, du point de vue des méthodes de collecte et de production de l'information. Cette rupture a des conséquences importantes aussi pour l'expertise géographique. Celle-ci ne peut plus faire abstraction de la grande masse de données disponible et doit utiliser ou inventer des méthodologies adaptées à l'analyse de l'espace produit par les interactions ainsi révélées.

L'information géographique a été pendant longtemps produite et centralisée au niveau de l'Etat (Desrosières, 2000). Son histoire est donc fortement liée à une histoire nationale mais aussi à une histoire technique. Cette co-évolution explique qu'au fil de la maîtrise du territoire national par un Etat souverain et au fil des progrès techniques et méthodologiques, la précision de l'information géographique s'est améliorée. Cette information géographique « classique » obéit à des normes codifiées par une longue expérience et beaucoup d'expertise (Terrier, 2011). Cependant, même quand elle est collectée à l'échelle des individus, l'information n'est jamais restituée à ce niveau car c'est une information sensible dont l'agrégation est nécessaire afin de préserver l'anonymat de chacun. La plupart des informations disponibles analysées par les géographes provient donc d'opérations d'agrégation, souvent dans des maillages administratifs, parfois dans des carroyages réguliers constitués pour rationaliser les analyses.

Ce paysage classique a été bouleversé par ce que certains nomment la «néogéographie» - bien que cette appellation soit contestée (Goodchild, 2009). Il s'agit d'un ensemble de pratiques liées à l'élargissement de l'accès à des données géographiques et à la possibilité donnée à tout un chacun de produire de l'information géographique. L'emploi du terme de néogéographie remonte d'après T. Joliveau (2010) aux ouvrages de F. Dagognet, *Une épistémologie de l'espace concret. Néo-géographie* (1977) et de Lefebvre, *La production de l'espace* (1974), mais la néogéographie a pris toute son ampleur avec l'apparition de Google Maps en 2005. Tous les utilisateurs d'Internet accèdent désormais à une information géographique relative à la Terre entière et ceux qui le souhaitent ont aussi la possibilité de produire une information par le moyen d'annotations ou d'illustrations.

Pour M. Goodchild, ce qui est critiquable dans l'idée de labelliser ces pratiques du terme de «nouvelle» géographie, c'est la réduction de toute une discipline à la simple manipulation de données géolocalisées, ce qui tendrait à remettre en cause le statut de l'expertise géographique (Goodchild, 2009). M. Goodchild (2009) et D. Peuquet (2002) distinguent clairement trois niveaux: les données, issues de l'observation, l'information construite à partir des données et la connaissance qui nécessite un degré supérieur d'abstraction.

«Data are characteristically raw observations that have been remembered or recorded in

some way, whereas information is data that are ordered and contextualized in ways that give them meaning. Information is thus selective with regard to data, separating the important from the relatively unimportant. Knowledge is a cumulative understanding of information based upon a «world model» (i.e., an overall representative structure and a set of generalized rules that pertain to the relevant phenomenon.» (Peuquet, 2002, p.52)

La familiarité de chacun avec son espace environnant et les avancées technologiques permises par Internet expliquent que de nombreux Internautes se soient emparés de la production de données et d'information géographique. Goodchild (2007) parle alors de « *citizens as voluntary sensors* ». A côté de cette information produite par les usagers de manière consciente et volontaire, il existe aussi de nouvelles sources de données géographiques issues de différents types d'instruments portés par les individus. L'ensemble de ces sources de données nouvelles et de cette information géographique contribue à modifier le rapport des individus au territoire.

Les pratiques des chercheurs sont aussi modifiées par ces nouvelles sources d'information. La grande diversité de capteurs ou de dispositifs de collecte d'information permet aux chercheurs, de toutes disciplines, d'aborder l'organisation du territoire et ses pratiques sous de nouveaux aspects.

I.1. La géolocalisation modifie le rapport au territoire

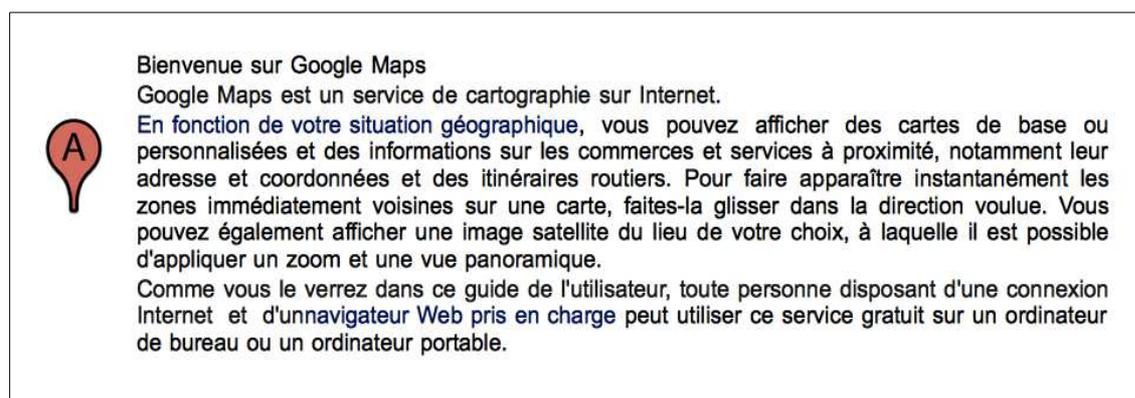
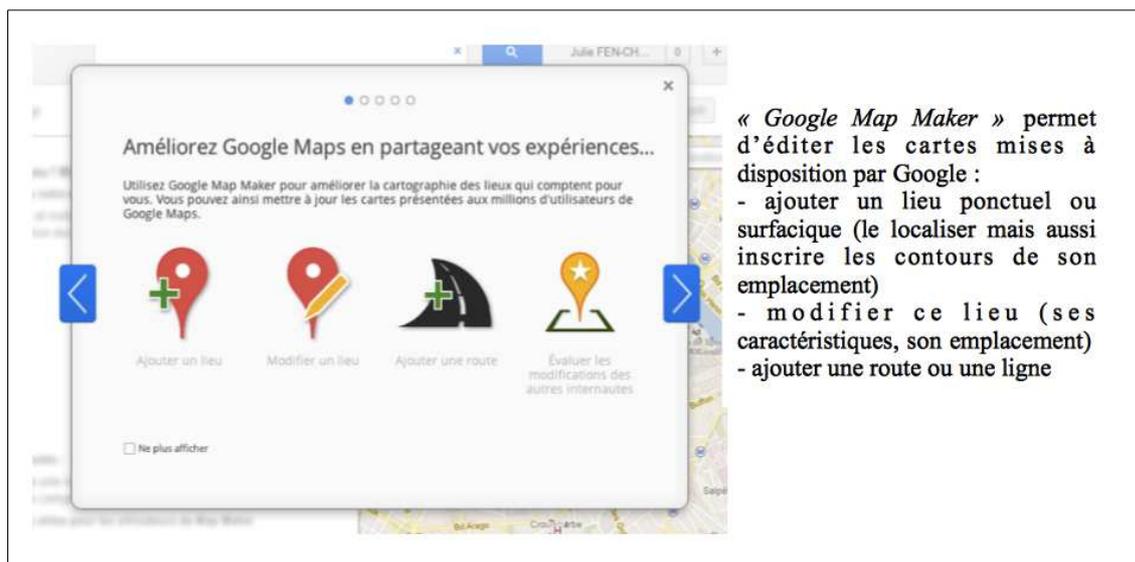


Figure 1.1 : Extrait de l'aide en ligne de Google Maps

(Source : <http://support.google.com/maps/bin/answer.py?hl=fr&topic=1687350&answer=144352>)

En 2005, Google Maps rend disponible au plus grand nombre un outil cartographique de géolocalisation. Stricto-sensu, la géolocalisation est un procédé qui permet de positionner les coordonnées d'un objet dans l'espace. Google Maps offre la possibilité à chacun de représenter l'environnement d'une localisation définie et de disposer d'informations sur les lieux et services alentours (Figures 1.1 et 1.2). Les données utilisées par Google sont issues de plusieurs sources et peuvent aussi être produites par les usagers eux-mêmes, notamment

par l'ajout ou la modification des informations concernant les lieux identifiés par le service.



« *Google Map Maker* » permet d'éditer les cartes mises à disposition par Google :

- ajouter un lieu ponctuel ou surfacique (le localiser mais aussi inscrire les contours de son emplacement)
- modifier ce lieu (ses caractéristiques, son emplacement)
- ajouter une route ou une ligne

Figure 1.2 : Fonctionnement de Google Map Maker

(Source : <http://support.google.com/mapmaker/bin/answer.py?hl=fr&answer=157176&topic=1094318&ctx=topic>)

La modification du rapport au territoire que permet cet accès constant à la géolocalisation se situe à plusieurs niveaux, celui de la connaissance du territoire, mais aussi celui de sa représentation et de sa pratique :

- le traitement de l'information spatiale se banalise : de la collecte à la production des données géographiques et leur représentation.

- cet afflux d'information spatiale modifie notre pratique du quotidien.

I.1.1. L'accessibilité des données géographiques

Ces données collectées par Google proviennent de différentes sources : les données cartographiques viennent de la société Tele Atlas, les images satellites viennent des sociétés DigitalGlobe et MDA Federal, certaines informations viennent de recherches sur Internet, d'autres directement des entreprises. L'une des grandes forces de Google Maps est de proposer aux développeurs d'applications informatiques la possibilité de créer des services s'appuyant sur les fonds de carte et les données géographiques issues du service. Ainsi se multiplient les sites Internet et les cartographies s'appuyant sur les données mises à disposition par Google.

Geoweb, *neogeography*, *crowdsourcing*, sont trois des noms qu'on donne à ce phénomène de diffusion de la donnée spatiale (Crampton, 2009). Le *Geoweb* correspond à l'indexation géographique d'Internet (Joliveau, 2011). La «*neogeography*»⁴, proche du «*crowdsourcing*»

4 Terme employé par Turner en 2006 pour qualifier les nouvelles pratiques de cartographie sur Internet.

correspond elle, à l'apparition de pratiques amateurs.

Ce phénomène oppose une cartographie «classique» à une nouvelle cartographie qui aurait été facilitée par plusieurs facteurs : la diffusion de données géographiques par des géants de l'Internet comme Google, la mise à la disposition des usagers d'outils pour rechercher de l'information, l'utiliser, ou la créer et la seconde phase de développement de l'Internet, qui a facilité la participation potentielle de chacun à la production de la connaissance mettant en oeuvre « l'intelligence collective» (Surowiecki, 2004) grâce à des applications dynamiques et interactives (Mericskay, 2011).

En France, la pratique «classique» de collecte de données géographiques, rappelle T. Joliveau (2011) se concentre elle, autour de trois institutions: l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE) qui collecte les données sociales et économiques sur la population et le territoire français, l'Institut Géographique National (IGN) qui est en charge des données géographiques et la cartographie du territoire et la direction générale des impôts responsable de la gestion du cadastre. A côté de ces trois principaux acteurs de l'information territoriale, il existe beaucoup d'autres acteurs qui collectent des données pour leurs propres besoins : collectivités, entreprises, associations, observatoires. Quelles sont les principales modifications apportées aux pratiques et aux représentations du territoire par les technologies de l'information et de la communication?

On peut distinguer plusieurs apports permettant de transformer tout individu en géographe :

1) Un accès facilité aux données spatiales

Google Maps n'a pas été le seul acteur dans la mise à disposition de données spatiales, des organismes officiels comme l'IGN ont rendus accessibles des produits cartographiques d'une grande précision autrefois accessibles uniquement à un petit nombre et sur format papier.

Issu des producteurs classiques du savoir géographique, le site Géoportail permet à l'utilisateur de disposer des cartographies produites par l'IGN et de superposer différentes couches géographiques (jusqu'à 91 différents types de couches). Ces couches d'information géographique sont de différents ordres : ce sont des cartes topographiques classiques comme des cartes IGN, ou des cartes anciennes comme celles de 1900 ou les cartes de Cassini. L'utilisateur peut aussi choisir de représenter les photographies aériennes. Des couches d'information thématique sont disponibles à l'échelle de la France entière ou à certaines échelles locales : les services publics, réseaux de transport, conditions atmosphériques, l'occupation des terres, l'occupation des sols...

Cette information spatiale est aussi disponible via le site Google Maps qui met à la disposition de l'internaute trois types de représentations de l'espace terrestre : le plan, l'image satellite en deux dimensions et en trois dimensions et une «Street view» (elle aussi en trois dimensions,

1.1. La géolocalisation modifie le rapport au territoire

vue du sol comme par un piéton). A ces données géographiques s'ajoute un autre type d'information issu de l'agrégation par Google des informations localisées et aussi des informations ajoutées par les usagers sur les lieux en question. Sur la figure 1.3, on peut voir la localisation d'une adresse, le 13 rue du Four à Paris, à partir de laquelle le moteur de recherche propose d'inventorier certains services proches. Ici, on a choisi de rechercher les librairies proches de l'adresse. Celles-ci sont automatiquement représentées sur la carte suite à la requête et associées à un petit texte dans la partie gauche de la fenêtre.



Ces données géographiques qu'elles soient produites par un producteur classique, par un nouveau producteur de contenus ou par des tiers utilisant les données disponibles, permettent de faciliter l'accès à des données sur l'organisation de l'espace et ont donc un impact sur la production et la diffusion de la connaissance géographique et les pratiques associées.

Cette mise à disposition des données géographiques et des informations sur le territoire entre dans le cadre d'un mouvement plus large de restitution de l'information aux citoyens⁵ alimenté par la capacité d'Internet à élargir l'espace public. Internet permet techniquement de rendre davantage visibles des informations accessibles à un monde restreint jusqu'alors, il permet aussi aux individus de participer à la construction d'une connaissance commune⁶.

2) La possibilité de participer à la fabrique et diffusion de l'information géographique

L'accessibilité accrue de l'information spatiale s'accompagne d'un autre phénomène :

5 C'est d'ailleurs l'intitulé du site Geoportail, « le portail des territoires et des citoyens ».

6 Il existe néanmoins des nuances entre les différents diffuseurs d'information géographique sur Internet, notamment entre Google Maps et Open Street Map, qui ne fonctionnent pas sur les mêmes principes de partage ou de construction de l'information.

l'appropriation du processus de production de l'information par les usagers eux-mêmes (Bakis et Valentin, 2010).

Dans la lignée des démarches participatives comme Wikipedia, des démarches visant à mettre à disposition du grand public des données géoréférencées gratuites se sont développées. Ces données sont libres d'utilisation et chacun peut contribuer à leur création. Par « libres » d'utilisation, nous nous référons aux licences libres, apparues à l'origine pour les logiciels mais qui se sont étendues à l'ensemble des œuvres de création. Les licences libres défendent 4 libertés: une liberté d'utilisation, une liberté de modification, une liberté de redistribution, une liberté de publication. Il existe néanmoins plusieurs types de licences et plusieurs modalités d'utilisation des contenus libres.

Le projet le plus connue de production libre de données géographiques est le projet Open Street Map⁷ (OSM), projet initié en 2004 dans le but de créer une carte des axes routiers de la Grande-Bretagne. Son créateur, Steve Coast explique la naissance du projet par le constat que les cartes produites par l'*Ordnance Survey*, tout comme celles produites par de nombreux instituts de cartographie d'Etat, ne sont pas libres de droits. Les cartes disponibles sur le site Géoportail sont la propriété de l'IGN et du BRGM⁸ et toute utilisation doit être soumise à l'accord des deux parties. Par ailleurs, les modifications de ces cartes ne sont pas possibles et leur mise à jour dépend donc des moyens de l'organisme. Le projet OSM se veut lui non seulement gratuit, comme Google Maps, mais avec une licence d'utilisation très permissive. La licence *Creative Commons Attribution ShareAlike2.0* du projet autorise l'utilisation des données issues d'OSM à condition que le travail dérivé dispose de la même licence. L'utilisation de ces données est donc soumise à des contraintes liées à la licence choisie par les fondateurs du projet, licence dont les modalités peuvent varier.

Google Maps met aussi à disposition des usagers les données présentées dans sa propre application cartographique via une API (de l'anglais *Application Programming Interface*, interface de programmation permettant d'accéder aux données stockées par le service)⁹. C'est ainsi que de nombreuses cartographies en ligne ou de nombreux sites Internet s'appuient sur ces données. Dans la figure 1.4, on voit un exemple de réutilisation des données pour produire une cartographie d'un monde imaginaire, une cartographie des «zombies»¹⁰ et des usages possibles des infrastructures existantes dans chaque lieu dans ce contexte très précis. Les données réelles telles que la population résidente ou les infrastructures hospitalières, militaires

7 Open Street Map est sous licence CC-BY-SA, paternité, partage à l'identique. Cette licence permet aux usagers de partager, d'adapter l'œuvre et de l'utiliser à des fins commerciales, mais l'œuvre doit être attribuée de la manière recommandée par les auteurs et en cas d'adaptation, la même licence doit être utilisée pour la distribution.

8 Bureau de recherches géographiques et minières.

9 Contre rétribution au delà d'un certain nombre de connexions.

10 Le site Mapofthedeath.com s'appuie certainement sur le succès de la bande dessinée « The Walking Dead » créée par Robert Kirkman et Tony Moore en 2003. Cette bande dessinée relate l'histoire de survivants devant faire face à une épidémie de mort-vivants.

et commerciales ont été réutilisées, mais un sens différent leur a été ajouté en fonction de ce monde imaginaire.

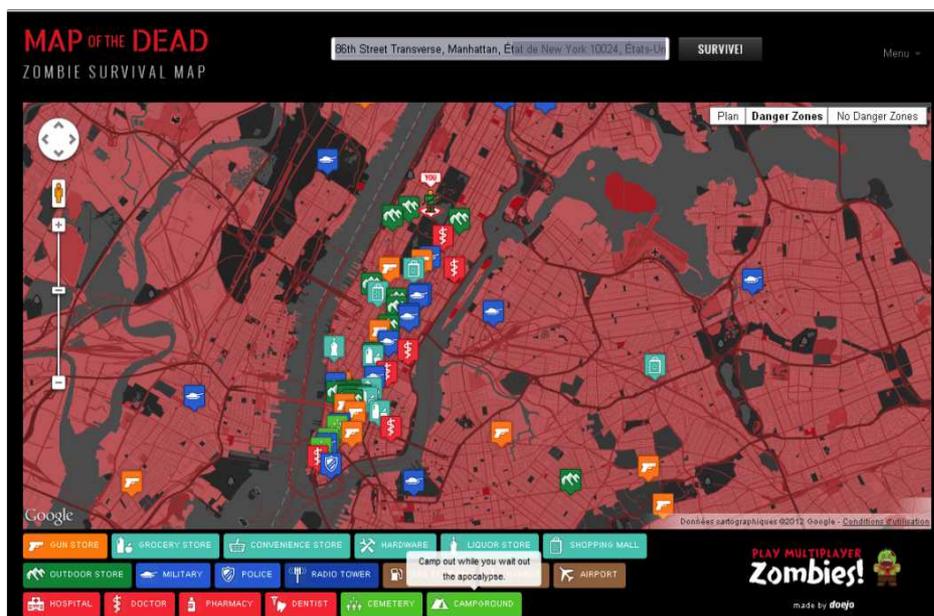


Figure 1.4 : Extrait de Mapofthedeat.com, site utilisant les données issues de Google Places. Les différents services de commerce de détail (en bleu clair), de transport (en marron), de santé (en rouge) ou les forces de l'ordre (en bleu foncé) ainsi que d'autres services urbains sont représentés avec leur utilité et les risques qu'ils peuvent présenter. (Source : <http://www.mapofthedeat.com/>)

Ce n'est pas seulement l'information qui est disponible au plus grand nombre et sous différents formats, mais la possibilité de participer à la construction d'une connaissance collective. Cette démarche s'inscrit dans une réflexion plus générale sur la participation collective qui a aussi lieu dans d'autres champs, autrefois réservés à des experts et sur le bouleversement de l'information avec Internet.

La capacité à produire de l'information est aujourd'hui aussi bien le fait d'amateurs que d'experts. Mais il est possible que la capacité à légitimer cette information relève encore de l'expertise, d'où les nombreuses tentatives de valider les données issues du *crowdsourcing*. D'une manière générale, les informations véhiculées par Internet posent un vrai problème de validation des sources d'information. La vitesse avec laquelle elles sont diffusées et l'absence de prise de recul lors de leur réutilisation a déjà conduit à de nombreuses erreurs d'interprétation.

Cette nouvelle production cartographique a ainsi donné naissance à de nombreux travaux visant à estimer la qualité des données cartographiques d'Open Street Map (OSM). En 2009, J.F. Girres et G. Touya proposent une évaluation des données d'OSM pour la France : les données issues d'OSM sont comparées aux données topographiques fournies par l'IGN. L'une des limites des données issues d'OSM est le manque de spécifications préalable à leur construction. La différence des données issues d'OSM avec les données issues d'une

cartographie payante pour le réseau routier allemand n'est que de 9 % (Neis et alii, 2012). Dans le cas des rues et routes allemands, OSM fournit 27 % de données supplémentaires que les sources classiques pour les axes piétons, mais est toujours incomplet quand il s'agit des données routières. Qui plus est, le nombre d'erreurs de topologie ou de toponymie diminue sur la période observée (2007-2011). La conclusion de cette comparaison est que dans les pays où le projet OSM est bien implanté, les données issues du projet sont quasiment aussi complètes que celles obtenues à partir de sources privées. En quelques années, ce projet collectif a ainsi produit une cartographie que des institutions classiques comme l'IGN ont mis de nombreuses années à réaliser.

3) La possibilité d'annoter les cartes ou d'y apporter un contenu vécu

Internet n'offre pas seulement la possibilité de naviguer à la surface de l'espace terrestre, mais aussi celle d'annoter, de localiser des photographies, de cartographier des itinéraires. Ainsi, de nombreux services permettent à tous de créer des représentations cartographiques enrichies sur Internet alors qu'auparavant, la production de la carte était un domaine réservé à un petit nombre d'experts. La pratique de la cartographie numérique est devenue accessible à tous: il est possible de calculer un itinéraire d'un lieu A vers un lieu B, de créer du contenu par l'ajout de lieu et la qualification de ces lieux, de créer des cartes personnalisées que l'utilisateur peut ensuite partager avec d'autres.

La possibilité d'annoter et de géolocaliser le contenu de certains sites permet même de cartographier les espaces pratiqués par les touristes et ceux pratiqués par les locaux. Ainsi en 2012, l'artiste Eric Fischer a créé des cartes des grandes villes mondiales en différenciant par des couleurs les photographies prises par des étrangers de celles prises par les résidents à partir du site Flickr'R. De nombreux sites Internet permettent à leurs usagers de localiser leurs actions et donc de créer une représentation de leur territoire vécu. Par exemple, le site de partage de photographie Flickr'R permet à ses usagers de partager ses photographies avec un groupe restreint ou avec tout le monde. L'utilisateur peut assigner volontairement à sa photographie, un lieu et des commentaires, ou des tags (mots clefs) permettant ainsi aux chercheurs qui par la suite collectent ces données d'étudier à la fois la localisation et donc la présence de photographes dans ces lieux, mais aussi les mots associés à de tels lieux. La collecte des données associées est possible via l'API proposée par le site, une API permettant à chacun d'utiliser et de représenter des données Flickr'R publiques comme les photographies, mais aussi les tags¹¹. Le site de réseau social Foursquare permet lui aux usagers de s'enregistrer comme étant présents dans un lieu, mais aussi d'assigner des tags à des lieux, et de consulter et identifier les personnes présentes dans le même lieu, modifiant ainsi les rapports des individus aux lieux qu'ils fréquentent.

L'ensemble de ces pratiques, l'entreprise de cartographie volontaire du monde et l'ajout

11 Dont les conditions de partage ont été définies comme "publiques" par ceux qui les déposent.

d'information sur des lieux ou des territoires, procède de l'information géographique volontaire. Les "amateurs" produisent une information géographique par le biais de ces outils, mais cette information reste volontaire. De nombreuses questions restent en suspens concernant la qualité, la représentativité et l'exhaustivité de ces données. Les données géographiques issues d'Open Street Map ont donné lieu à des estimations de qualité qui montrent que dans certains pays, ces données sont de grande qualité, mais dans les pays où le projet n'est pas aussi développé, ou quand les habitants ne possèdent pas les outils nécessaires à la géolocalisation des routes (les GPS¹², l'accès à Internet), la qualité des données fournies n'est peut être pas aussi homogène. Concernant la représentativité des données numériques, on peut s'interroger réellement sur les individus sur lesquels elles nous renseignent. Est-ce que l'utilisation des outils des nouvelles technologies de l'information et de la communication est répartie uniformément au sein de la population ou est-ce que seuls certains groupes d'individus sont concernés ? Le cas échéant, nous disposerions d'un point de vue bien spécifique sur le territoire. Analyser des données issues des usages des réseaux sociaux ou des usagers d'outils techniques ne peut pas se faire sans prendre en compte la spécificité de ces individus et des usages qu'ils font de ces outils.

4) Des traces individuelles enregistrées volontairement ou involontairement

Les services géolocalisés permettent aussi de suivre la trace des individus grâce à des capteurs portés par ces derniers. Par exemple, les sportifs conservent des traces GPS liés à leur téléphone portable ou à un autre type d'instrument (montres équipées de GPS) et peuvent voir leurs activités sur des sites en ligne. Le site Runkeeper (figure 1.5) offre la possibilité aux détenteurs d'un smartphone équipé d'un GPS de consulter le parcours effectué lors d'une course mais aussi les caractéristiques de cette course telles que la vitesse, le dénivelé etc...

12 Global Positioning System : système de géolocalisation par satellite.

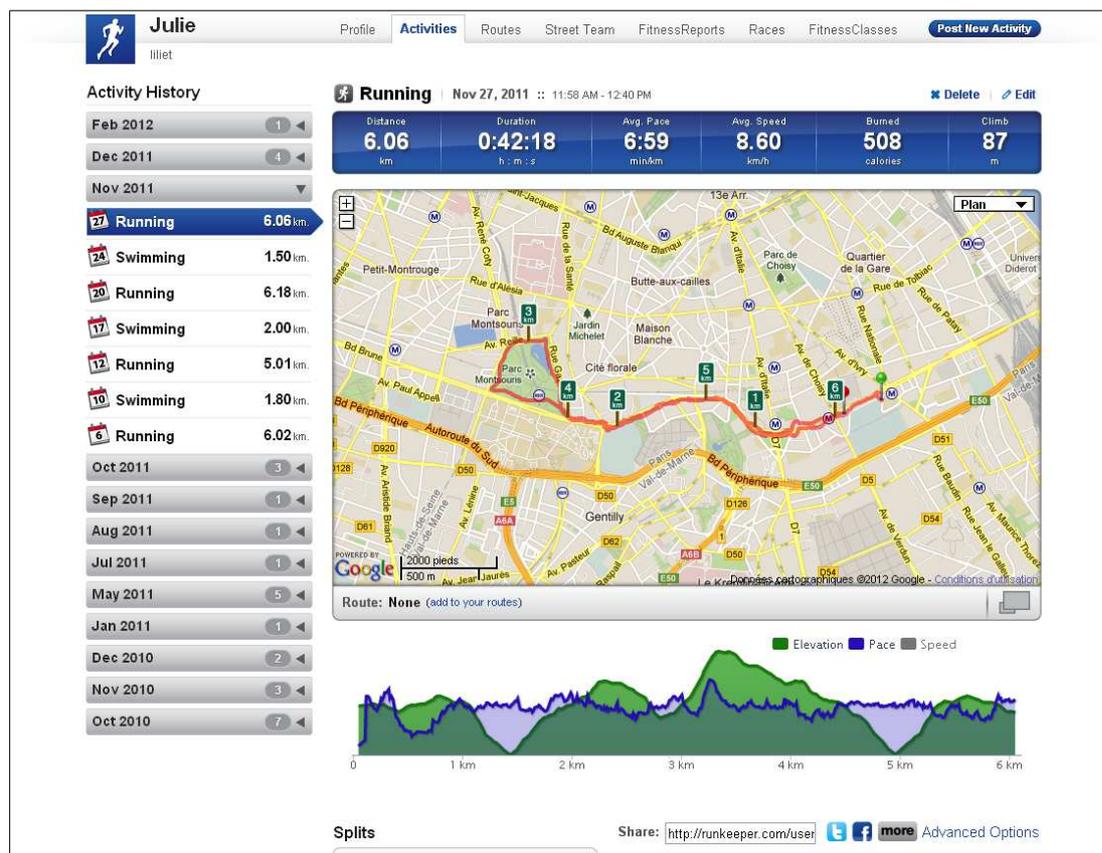


Figure 1.5 : Extrait du site Runkeeper cartographiant un itinéraire et dessinant son profil topographique et la vitesse du déplacement à partir des données d'un GPS (Source :<http://www.runkeeper.com>)

D'autres projets comme celui de la montre verte¹³ permettent de réaliser des mesures environnementales (bruit et ozone) lors des déplacements des usagers par le biais d'un dispositif installé sur une montre dotée d'un GPS. Ce projet est composé de trois dispositifs. Un deuxième dispositif sur le téléphone portable des participants leur permet de consulter l'information enregistrée par la montre et un troisième service, une plateforme web restitue l'ensemble des données enregistrées et les représente sur une carte.

Les traces laissées par les usagers peuvent aussi se faire sans leur accord explicite. Ainsi récemment, deux chercheurs ont montré que la société Apple enregistrerait à leur insu la localisation des détenteurs du smartphone iPhone par triangulation¹⁴ (à partir de la localisation des points d'accès wifi et des antennes-relais utilisées par les téléphones). L'objectif de l'opérateur est de fournir aux usagers du téléphone des informations sur leur position (le GPS ne fonctionnant pas dans tous les endroits) à partir d'un calcul obtenu par triangulation. Le calcul par triangulation, plus rapide parfois que le GPS du téléphone, s'appuie sur une base de données des points d'accès wifi et des antennes-relais, alimentées par les iPhones. Les données étaient ensuite téléchargées sur l'ordinateur des possesseurs du smartphone lors de la

13 Le site du projet n'est plus accessible aujourd'hui

14 <http://petewarden.github.com/iPhoneTracker/>

mise à jour du logiciel du téléphone, ce qui a permis de découvrir le protocole d'enregistrement.

Les opérateurs de téléphonie mobile disposent ainsi de données de localisation des téléphones (il s'agit en fait de la localisation des antennes-relais) à la différence près que ces données ne sont pas accessibles, même pour l'utilisateur en question. Il existe ainsi de nombreux outils utilisés dans la vie de tous les jours, dont l'usage rend possible le suivi des populations : téléphones portables, cartes de transport, RFID (*Radio Frequency Identification*)...

Que cela soit sur Internet, ou auprès des opérateurs de service urbains, une grande masse de données géolocalisées est aujourd'hui disponible. Pour le chercheur, cela conduit à se poser plusieurs questions : comment estimer leur qualité? comment prendre en compte leur massivité? comment les représenter? L'expertise des cartographes, géographes et géomaticiens est-elle à remettre en question, notamment avec le développement des nombreuses visualisations sur Internet? Ou ne pourrait-on pas voir aussi là une nouvelle opportunité de recherche à saisir : à la fois sur le statut de cette «connaissance» empirique produite par le plus grand nombre et sur leur légitimité en tant qu'experts, mais aussi une opportunité pour produire davantage de connaissance sur le territoire. Ces données géolocalisées sont une nouvelle opportunité de saisir l'organisation du territoire autrement que par les méthodes classiques. Elles permettent d'avoir accès à une quantité et à une nature de données jusqu'alors inaccessibles aux chercheurs mais aussi à une résolution temporelle d'enregistrement parfois très fine.

1.1.2. La modification de notre connaissance spatiale et de nos pratiques

L'une des hypothèses de notre travail est que les technologies de l'information et de la communication (TIC) et en particulier les outils de synchronisation comme le téléphone portable, en se situant entre l'individu et les autres, ont contribué à modifier le rapport des individus à l'espace et au temps (Schwanen, Dijst et Kwan, 2008 ; Schwanen et Kwan, 2008 ; Rallet, Aguiléra et Guillot, 2009) .

Avec la spécialisation des espaces, l'éloignement entre le lieu de domicile et de travail, mais aussi la diversification des sphères du quotidien (Guillot, 2010), les individus voient leurs lieux et temps d'activités multipliés. Cette diversité refaçonne le rapport à l'espace et au temps dans sa dimension pratique : les individus aux emplois du temps les plus complexes doivent jongler avec de nombreuses contraintes et opportunités spatio-temporelles.

Grâce à ces outils, l'individu serait plongé dans un «continuum spatio-temporel» dans lequel les frontières entre ses différentes sphères seraient devenues floues : la possibilité d'être en interaction avec autrui à n'importe quel moment de la journée, depuis n'importe quel endroit

atténuerait l'impact de la distance physique (Aguiléra, Guillot et Bonin, 2009). En effet, celle-ci serait un obstacle moindre à l'interaction sociale, ce qui ne signifie pas qu'elle serait complètement évacuée. Cette représentation spatio-temporelle de l'espace vécu comportant davantage de continuité se substituerait progressivement aux représentations classiques en «coquilles» emboîtées (Moles, Rohmer, 1972) ou aux formes d'espaces vécus cloisonnés et coupés par une barrière, isolés en tunnel, mises en évidence par les travaux antérieurs sur les représentations spatiales individuelles et collectives.

Qui plus est, dans le même ordre d'idée, on assiste à une «convergence de l'espace temps» permettant d'accélérer les déplacements et d'intensifier les communications (Janelle, 1969). Ce concept d'espace-temps correspond à une reconfiguration de la notion classique de l'espace. L'espace géographique souvent défini comme un espace support peut être aussi caractérisé de manière relative. Il peut ainsi se définir en terme d'interactions possibles, prenant en compte le temps de parcours nécessaire à ces interactions (Pumain, Bretagnolle, Degorge-Lavagne, 1999). Les progrès techniques du domaine des transports expliquent la réduction de ces distances de parcours et la notion de contraction de l'espace-temps (Ollivro, 2000). D'autres progrès techniques concernant les modes de communication, contribuent à cette évolution dans laquelle l'espace et le temps n'imposeraient plus les mêmes contraintes. J. Ollivro insiste néanmoins sur le fait que cette diminution des vitesses et cette contraction de l'espace-temps ne concernent qu'une partie de la population : certaines régions ne sont pas reliées aussi rapidement au reste du monde et surtout, certaines populations pourraient choisir volontairement de s'isoler territorialement de cet espace mondial fluide.

S. Graham (1998) identifie trois manières d'analyser cette mutation :

- 1) l'interprétation déterministe de la «substitution», dans laquelle les TIC auraient un impact tel sur l'espace et la société que tout en serait modifié,
- 2) l'interprétation de la "coévolution" où les deux espaces, réels et virtuels continueraient à se développer,
- 3) l'interprétation de la reconfiguration de l'espace et du temps dans un mode relationnel avec les technologies (en s'appuyant sur les théories de l'acteur réseau développées par M. Callon et B. Latour et la théorie du cyborg développée par D. Harraway).

Notre hypothèse de travail est que l'espace et le temps restent des contraintes car même si elles permettent davantage de flexibilité, les technologies de l'information et de la communication restent intégrées au sein de systèmes d'objets et d'acteurs qui maintiennent des contraintes fortes sur les pratiques des individus. Les individus développent des stratégies pour faire face à ces contraintes en s'appuyant sur ces technologies (Guillot, 2010).

Qui plus est, outre cette modification des contraintes spatio-temporelles, l'utilisation des TIC rend disponible une information géographique et «sociale» à tout moment. L'individu qui dispose à tout moment d'une vue de sa propre localisation au sein de l'espace ainsi que

d'informations sur les lieux verra ses choix et repères modifiés. Paradoxalement, l'homme moderne retrouverait ainsi des capacités de localisation et d'orientation « absolue » bien identifiée chez les nomades des déserts chauds aussi bien que chez les Inuits du grand Nord pour des des populations ayant un besoin vital de repérage et une longue pratique d'orientation (Collignon, 1996).

La disponibilité de cette information modifie la connaissance spatiale des individus. Selon J. Piaget (Peuquet, 2002), la construction de la connaissance est un processus qui se fait en interaction avec l'environnement sensible. L'apprentissage des enfants évolue ainsi d'un stade où la connaissance que possède l'enfant de son environnement est principalement due à ses propres actions, à un stade où la pensée logico-mathématique permet de faire des hypothèses détachées de l'environnement sensible. En parallèle, le point de vue de l'enfant passe d'un point de vue égocentrique, où l'espace et le temps sont évalués en fonction de sa propre expérience, à un perspectivisme où la connaissance de l'espace et du temps prend en compte une vue intégrée et objective du monde. Ce processus de construction de la connaissance s'applique aussi aux adultes quand ils sont situés dans un environnement nouveau, par exemple, quand ils doivent s'orienter dans une ville inconnue (Peuquet, 2002).

La possibilité d'être informé sur l'espace environnant et les services environnant à tout moment modifie les possibilités de navigation, la navigation qui est, selon K. Lynch, l'une des premières fonctions de la connaissance géographique (Peuquet, 2002). Les individus se repèrent classiquement à l'aide de repères (*Landmarks*) qui permettent d'organiser la représentation de l'espace géographique. Pour R. Golledge (1992), la navigation nécessite deux types de connaissance, une connaissance déclarative, les repères spatiaux et une connaissance procédurale, le trajet permettant de se déplacer. L'accès aux informations de navigation sur l'outil portable modifie ces deux formes de connaissance spatiale car les individus n'ont plus besoin des repères offerts par l'environnement ou de calculer leur itinéraire sur la carte papier. Les services comme Mappy, Google Maps, ou ceux de la RATP, par exemple, permettent de construire des itinéraires, quels que soient les modes de transport, en évacuant une grande part de l'incertitude liée au choix de la trajectoire. Ils s'adaptent même, à tout moment, aux modifications apportées par l'utilisateur lui-même dans l'itinéraire, recalculant en permanence le chemin à prendre pour se rendre à la destination souhaitée.

De même, le processus de décision est modifié par l'utilisation de services tels que Yelp, service permettant de repérer autour de soi tous les lieux d'une activité spécifique (par exemple, restaurant ou librairie) ainsi que de disposer des avis des autres usagers sur ces mêmes lieux. L'individu dispose ainsi de nouvelles possibilités de choix. La figure 1.2 (p. 21) illustre comment le moteur cartographique permet de retrouver un certain type de service à proximité de l'adresse entrée dans la recherche. En plus de cette information de localisation, les lieux proposés sont évalués et décrits en fonction des avis de certains usagers.

Ainsi, de plus en plus, les choix des individus peuvent être influencés par des algorithmes de classement qui reposent eux aussi sur cette notion de « sagesse collective ». La recommandation sur Internet devient un mode d'organisation de l'information et sa disponibilité en temps réel via les applications mobiles offre des possibilités nouvelles aux usagers.

Les pratiques de sociabilité sont de la même manière modifiées car certains services géolocalisés permettent d'offrir une information sur la fréquentation des lieux proches. Foursquare, sorte de médium de réseau social géolocalisé (déjà évoqué p.24), permet à ses usagers de dire où ils sont, de commenter le lieu fréquenté, mais aussi de savoir où sont leurs amis. Chaque usager inscrit sur le site peut s'enregistrer dans un lieu, s'il est celui qui y est le plus souvent présent, il se voit même attribuer le titre de "maire" du lieu. Il peut voir quelles sont les autres personnes présentes sur ce lieu, en particulier regarder où se trouvent ses amis.

Les pratiques des usagers sont modifiées car les technologies de l'information et de la communication mettent à leur disposition de nombreuses informations sur les lieux et particulièrement sur les lieux les entourant, sur leurs amis et leur localisation et sur ce que les autres pensent des lieux. La navigation au sein de l'espace urbain est ainsi modifiée et repose grandement sur l'accessibilité à ces informations numériques.

I.2. De nouvelles sources de données pour les chercheurs

Ces nouvelles sources de données spatiales sont aussi une opportunité pour les chercheurs car elles permettent d'avoir accès d'une autre manière à une connaissance du territoire (Aguiton et alii, 2009).

I.2.1. Panorama de ces nouvelles sources et des études faites sur l'organisation du territoire

Il existe deux principales méthodes de production de ces nouvelles données spatiales : ce sont soit des données collectées par le biais d'applications ou de dispositifs où les usagers sont volontaires, soit des données collectées par des dispositifs dont les usagers n'ont pas conscience, des dispositifs où les usagers fournissent des informations de localisation sans pour autant être volontaires au sujet de l'utilisation de ces données à d'autres fins. Certaines de ces données peuvent n'être que des localisations, tandis que d'autres peuvent comporter une information sémantique sur les lieux, ou encore sur les actions de l'utilisateur. Dans le tableau 1.1 ont été inventoriées (de manière non exhaustive) les nouveaux types de données géolocalisées concernant les pratiques spatiales des usagers. Les données géographiques comme celles issues du projet Open Street Map n'ont pas été intégrées à ce tableau car elles sont avant tout des informations topographiques et cartographiques alors que les données

énumérées concernent des pratiques individuelles pouvant nous informer sur la mobilité.

	Quantitatif	Qualitatif
Production active	<ul style="list-style-type: none"> - Mesures environnementales localisées par un capteur (ex: montre verte) - localisation par des données RFID («codes barre») localisation des photographies (Flick'R) 	<ul style="list-style-type: none"> - Enquête appuyée sur un dispositif mobile - Réseau social géolocalisé (Foursquare, Facebook places) - messages géolocalisés (Twitter)
Collecte passive	<ul style="list-style-type: none"> - localisation avec les téléphones mobiles - localisation par les capteurs bluetooth - localisation par la connexion wifi - localisation avec les cartes de transport 	<ul style="list-style-type: none"> - Cartographie et mesure des performances sportives (applications Runkeeper, Nike+, montres garmin)...

Tableau 1.1: Les différents capteurs de données géolocalisées

Nous faisons ici un bref état de l'art des types d'utilisation de ces nouvelles données dans la recherche urbaine. L'objectif de cet état de l'art est d'illustrer les possibilités offertes par ces nouvelles données pour étudier l'espace urbain. Les données géolocalisées servent principalement à comprendre l'organisation des mobilités au sein de la ville (comment se déplacent les individus) et les pratiques de l'espace par les usagers (quels sont les lieux les plus fréquentés, quels sont les lieux où les personnes communiquent le plus et à quel moment...). On propose de classer les travaux d'abord selon la nature du capteur utilisé, puis en fonction des questions de recherche urbaine traitées.

- Les capteurs bluetooth pour saisir les pratiques de l'espace urbain

E. O'Neill, V. Kostakos, T. Kindberg et alii en 2006 proposent d'utiliser la technologie bluetooth dans le cadre de la «*space syntax*» pour analyser les pratiques de l'espace urbain. La «*space syntax*» est une approche systémique ayant pour objectif de comprendre la relation entre l'environnement construit et le comportement des individus. Elle implique une description de la ville à très grande échelle, du point de vue d'un piéton. Pour mener à bien leur projet, les auteurs ont recours à deux notions de la *space syntax*, la notion de «*gate count*» (nombre de personnes franchissant un passage précis) et celle de «*static snapshot*» (photographie d'un lieu). Dans le premier cas, il s'agit de compter le nombre de piétons équipés de capteurs bluetooth passant par un lieu donné à l'aide d'un dispositif bluetooth installé dans ce lieu. Dans le second cas, les «*photographies*» des lieux sont les observations

faites par les enquêteurs de la pratique de l'espace. Les auteurs insistent sur les difficultés techniques imposées par l'utilisation du bluetooth et sur la nécessité de coupler ce type de données avec des observations de terrain. Ces deux types de données permettent de comprendre l'intégration des différents axes pédestres à la ville et l'utilisation des lieux par les usagers de la ville.

- Le téléphone portable: un outil de collecte passive ou active

Les données collectées par les téléphones portables sont de deux types: elles peuvent être collectées de manière «active» par l'intermédiaire d'une application installée sur le téléphone portable et nécessitant donc l'accord de l'utilisateur (Eagle, 2005; Asakura et Hato, 2003). Mais elles peuvent aussi être collectées de manière «passive», ce sont les données issues des enregistrements réalisés par le réseau de téléphonie mobile. L'utilisation de ces grandes masses de données pose de nombreux problèmes en termes de respect de la vie privée : les usagers de téléphones portables n'ont pas été consultés sur l'utilisation des enregistrements de la localisation de leurs appels.

L'utilisation du téléphone portable pour enregistrer les localisations des individus commence dès la diffusion de celui-ci auprès du public. En 2003, Y. Asakura et E. Hato proposent d'utiliser le téléphone portable comme outil de localisation des individus. Le système permettant de localiser le téléphone est identique à celui utilisé pour le GPS, une triangulation¹⁵ s'appuyant sur les antennes du réseau de téléphonie mobile. Ces données brutes de localisation doivent être enrichies sémantiquement et Y. Asakura et E. Hato proposent un algorithme permettant de définir les situations de déplacement et d'immobilité pour produire une information proche de celle collectée par des méthodes d'enquête plus classiques.

En 2006, T. Sohn, A. Varshavsky, A. Lamarca et alii étudient, eux aussi, la possibilité d'utiliser les traces des téléphones pour analyser les mobilités. Mais leur technique d'enregistrement diffère de celle proposée par Y. Asakura et E. Hato. Ils équipent les téléphones portables d'une application qui calcule et enregistre leur localisation. Les téléphones portables sont pour eux une excellente alternative au GPS qui ne peut pas enregistrer la localisation des usagers tout au long de la journée (en raison des différentes contraintes techniques inhérentes au fonctionnement du GPS: ciel ouvert, disponibilité des antennes etc...). Une troisième solution proposée est d'utiliser le GPS des téléphones portables: ainsi J. Herrera, D. Work, R. Herring et alii (2010) proposent une méthode d'évaluation du trafic routier à partir de l'analyse des données GPS des usagers de téléphones portables. Enfin, la dernière manière de collecter des données de localisation à partir du téléphone portable est d'utiliser les enregistrements de la base de données technique du réseau de téléphonie mobile. Ce dernier, pour des besoins techniques, enregistre l'identifiant de

15 Technique qui permet de mesurer les coordonnées d'un point en fonction de l'angle réalisé entre ce point et les droites passant par d'autres points de référence.

l'antenne à laquelle le téléphone se connecte (Ahas, Silm, Järv et alii, 2010). Cette information peut être utilisée directement à partir des bases de données techniques, ou à partir des bases de données de facturation (les comptes-rendus d'appels).

- Les données mises en ligne par les usagers

D'autres travaux se servent d'informations accessibles de manière publique : les travaux de F. Girardin, F. D. Fiore, C. Ratti et alii tirent parti des données mises en ligne par les usagers sur le site de partage de photo Flickr^R. Ils étudient ainsi le comportement des touristes à Florence (2008) et à Rome (2008). Plus récemment (en 2010), F. Girardin a réalisé une cartographie des usages sociaux des lieux de la ville de Genève en combinant les données du site Foursquare, les photographies déposées sur Flickr^R et des données concernant les différents événements (congrès, expositions ...) ¹⁶ ayant lieu dans la ville.

M. Piorkowski (2009) se sert des traces GPS des usagers d'un service de géolocalisation, le service sportstracker de Nokia¹⁷. Le service «sportstracker» de Nokia permet aux usagers de téléphones portables Nokia équipés de GPS de suivre le parcours de certains déplacements dans la ville. Il s'agit le plus souvent de parcours de jogging, donc des trajets courts mais néanmoins utiles à la compréhension des mobilités. A partir des 125 000 enregistrements des usagers du service issus des villes d'Helsinki, Stockholm et Londres, l'auteur montre l'intérêt de ces données pour appréhender ces mobilités urbaines bien spécifiques.

- Les données issues de l'utilisation de services

Les services urbains de transports enregistrent des données concernant les pratiques spatio-temporelles des individus. En 2009, J. Froelich, J. Neumann et N. Oliver utilisent les empreintes numériques laissées par un système de partage de vélo. Ils collectent 26 millions d'observations provenant de 390 stations de vélo (ainsi que des questionnaires en ligne) pour analyser les rythmes d'utilisation du vélo. Ils construisent un modèle de prédiction de l'état des stations de vélo. Ce modèle, qui fonctionne dans 80% des cas, permet de décrire l'état de la station (remplie, vide, entre les deux) et de mieux gérer le service. L'utilisation de données issues de stations de vélo en location fait aussi l'objet de nombreux articles dans le cas lyonnais (Borgnat, Abry, Flandrin et alii ,2009; Merchez et Rouquier, 2012). Dans les deux cas, les auteurs disposent de presque deux ans de données, concernant environ 13 millions de déplacements cyclistes. Les cartes de transport en commun comme la *Oyster card* à Londres, Grande Bretagne (Roth, Kang, Batty et alii, 2010) permettent aussi d'analyser la structuration des flux au sein d'un territoire. Enfin, concernant les transports à longue distance, des projet comme le projet «*Trains of Data*» partenariat entre l'opérateur ferroviaire français, la SNCF et le laboratoire Sensable City Lab combinent des données sur le trafic réel des trains pendant

16 <http://urbanites.rts.ch/laboratoire-des-villes-invisibles/2010/05/05/cartographier-lactivite-urbaine-durant-lift10/>

17 <http://sportstracker.nokia.com/nts/main/index.do>

une semaine, avec les horaires théoriques de ceux-ci et le nombre de passagers concernés par chaque train afin d'évaluer et de cartographier le nombre de personnes affectées par des retards.

Les données issues de capteurs urbains présentent de nombreuses imperfections. Ce degré d'imperfection est d'autant plus important que le protocole de collecte n'est pas construit dans un but qui serait celui du chercheur. D'autre part le traitement et la représentation de ces données massives et hétérogènes présentent de nouveaux défis aux chercheurs qui n'ont pas toujours acquis les compétences informatiques ou mathématiques requises pour les analyser. Afin de pallier l'imperfection des données numériques, de nombreuses analyses les associent à d'autres types de données permettant d'obtenir des informations sur les mobilités elles-mêmes ou sur les motivations des usagers. Ainsi, de nombreuses enquêtes associent collecte de grandes quantités de données de manière automatique avec d'autres données statistiques ou avec une enquête qualitative menée auprès des enquêtés.

Grâce à une application installée sur les téléphones portables, J. Froehlich, M. Chen, I. Smith et alii (2006) étudient le comportement de 16 personnes sur une période de quatre semaines. Leur étude vise à mettre en relation les préférences des enquêtés avec des caractéristiques de leurs déplacements. Ils testent la corrélation entre les lieux préférés et la fréquence de visite ainsi que le temps de trajet nécessaire pour se rendre dans le lieu. Outre le suivi des individus permis par les téléphones portables, l'application permet aussi aux enquêtés de donner des indications complémentaires sur les lieux dans lesquels ils se rendent et sur leurs lieux préférés. Ainsi cette enquête permet d'analyser en détail les choix de mobilité des enquêtés.

Dans le cadre de leur «recensement cellulaire» (en anglais dans le texte, «*cellular census*») J. Reades, F. Calabrese, A. Sevtsuk et alii (2007) associent les données portant sur la répartition spatiale de l'intensité d'utilisation des téléphones portables (exprimés dans une unité appelée erlang, définie dans le chapitre 3, p.82) à des données issues des compagnies de transport. Ils peuvent ainsi tenter de recenser les différentes personnes présentes dans la ville et mener une analyse spatio-temporelle de l'activité urbaine. De la même manière, en utilisant les données déposées par les usagers sur le site de partage de photographies Flickr ainsi que les appels téléphoniques émis par les usagers étrangers de téléphones portables, F. Girardin, F. Calabrese, et alii (2008) étudient le comportement des touristes visitant la ville de Rome.

Les données géolocalisées ne permettent pas de comprendre les motivations des déplacements, c'est pourquoi de nombreux chercheurs leur associent des données concernant l'organisation de l'espace afin de formuler des hypothèses sur les motifs des mobilités. J. Grengs, X. Wang et L. Kostyniuk (2008), associent des données de localisation issues des GPS avec des informations sur la répartition de l'usage du sol (sur la base des zones commerciales, résidentielles et industrielles) permettant ainsi d'inférer les lieux de résidence, de travail et d'école des porteurs de GPS. F. Calabrese, J. Reades et C. Ratti (2010) croisent

les données de connexion au réseau wifi sur le campus du MIT, avec la carte des différents espaces fonctionnels du campus. Ils peuvent ainsi mieux comprendre les différents usages des lieux.

C'est dans ce contexte de multiplication des sources de données urbaines disponibles que se situe le projet wikicity¹⁸ de F. Calabrese et C. Ratti. Dans la lignée de ses nombreux travaux s'appuyant sur ces données numériques nouvelles, le laboratoire Senseable City du MIT a pour projet de constituer une plateforme de partage de données sur la ville en temps réel. La possibilité de croiser les données de téléphonie mobile avec des données apportées par d'autres sources, intégrables par exemple grâce à des systèmes d'information géographique, permet d'approfondir l'analyse de l'espace urbain en intégrant de nombreuses dimensions et des situations spécifiques (Vaccari, Liu, Biderman et alii, 2009).

I.2.2. Quels questionnements sont possibles à partir de ces nouvelles données?

Ces «nouvelles données» suscitent la curiosité des chercheurs et ainsi, elles ont été mobilisées par différentes disciplines pour produire une information sur les déplacements ou sur l'espace urbain. Ces disciplines fournissent toutes un point de vue complémentaire sur la manière avec laquelle traiter et analyser ces données hétérogènes.

I.2.2.1. De nouveaux angles d'analyse de la mobilité spatiale

La disponibilité de données géolocalisées sur ces objets mobiles vient soutenir un champ de recherche centré autour du mouvement, qu'il s'agisse d'humains, d'animaux (Turchin, 1997 ; Buard, 2010) ou de navires (Etienne, 2011). L'étude du mouvement nécessite de s'intéresser à plusieurs dimensions : l'espace et le temps. En écologie, deux approches principales permettent d'aborder le mouvement : l'approche eulérienne qui consiste à compter le nombre d'individus passant par un endroit et l'approche lagrangienne qui consiste à suivre des individus ou des objets (Turchin, 1997 ; Etienne, Devogele, Bouju, 2009; Buard, 2010; *ibid* 2011a; *ibid* 2011b; Etienne, 2011). Les données issues de capteurs rendent possible l'utilisation d'une approche lagrangienne, longtemps inaccessible faute de données suffisantes.

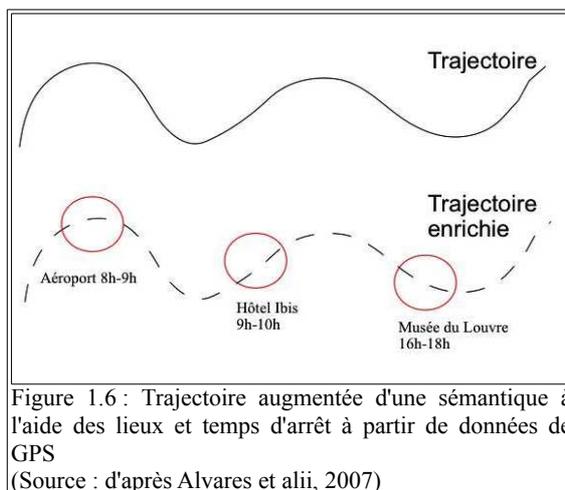
1) Retrouver les lieux pratiqués par les individus

Dans ce contexte, de nombreuses études visent à proposer une méthodologie d'extraction de connaissance à partir de ces données. Les données issues des GPS ou des téléphones portables ne produisent pas directement de l'information sur les mobilités. Ces données sont principalement des triplets (x,y,t) comprenant des coordonnées géographiques et un instant.

18 <http://senseable.mit.edu/wikicity/>

Ce sont donc des données ponctuelles à partir desquelles une information de mobilité doit être construite. Pour cela, de nombreux travaux utilisent la notion de trajectoire et les concepts associés: le déplacement et les lieux d'arrêt (Mefteh, Bouju, Malki, 2012 ; Buard, 2011b; Alvares, Palma, Oliveira et alii, 2010). Des algorithmes permettent ensuite de reconstruire ces deux notions à partir des trajectoires. Ayant tous pour point de départ des trajectoires individuelles, ces algorithmes s'appuient sur des conceptions du mouvement différentes.

- L'algorithme IB-SMoT (*Intersection-Based Stops and Moves of Trajectories*)



Par exemple, l'algorithme IB-SMoT proposé par L. Alvares, V. Bogornia, B. Kuijpers et alii en 2007 identifie dans un premier temps les points de la trajectoire qui sont en intersection avec un centre d'intérêt géographique défini au préalable (Figure 1.6). La durée de cette intersection doit être supérieure à un seuil temporel fixé pour que cette intersection soit considérée comme un arrêt. Ainsi, dans cet algorithme, ce sont les caractéristiques de l'espace qui expliquent l'arrêt de l'individu.

Ce type d'algorithme est utilisé pour décrire finement les activités probables des individus. S. Phithakkitnukoon, T. Horanont, G. Di Lorenzo et alii (2010) utilisent un algorithme de stop similaire pour affecter ensuite aux individus des activités correspondant à l'activité la plus probable étant donné le contexte spatio-temporel du lieu dans lequel ils étaient arrêtés. Après avoir fait une recherche sur les principaux points d'intérêt relevant des loisirs, du commerce ou de la restauration, S. Phithakkitnukoon et ses collègues vérifient le lien entre le lieu de travail, le lieu au sein duquel les individus passent le plus de temps pendant les horaires de travail, et le profil d'activité moyen des individus. Les algorithmes de détection de stop, associés à une bonne connaissance de l'espace urbain, permettent donc de formuler des hypothèses sur le programme d'activité des individus.

- L'algorithme CB-SMoT pour *Clustering-Based Stops and Moves of Trajectories*

Une autre solution peut être l'algorithme CB-SMoT (Palma, 2008) qui s'appuie sur la vitesse de la trajectoire. Dans un premier temps, l'algorithme identifie les parties les plus lentes de la trajectoire et dans un second temps, il compare ces segments aux lieux définis comme intéressants au préalable. Si certains arrêts semblent se produire à des lieux non répertoriés, ceux-ci sont tout de même inventoriés par l'algorithme. Ici, ce sont les caractéristiques propres au déplacement qui appuient le raisonnement. Détecter des périodes d'arrêt ne suffit pas, il faut pouvoir évaluer si ces «arrêts» supposés correspondent à de vrais arrêts physiques ou à des arrêts dus aux conditions d'enregistrement.

Pour analyser le trafic à partir des données GPS: J. Grengs et alii (2008), D. Ashbrook et T. Starner (2003) expliquent la nécessité de distinguer les lieux où l'utilisateur s'arrête et ceux où l'arrêt est imposé par la circulation.

- La récurrence pour détecter des lieux d'ancrage

Une autre notion est aussi essentielle pour extraire une information de mobilité à partir de données «brutes» de trajectoires: il s'agit de la récurrence temporelle. R. Ahas et alii (2010) proposent un algorithme afin de retrouver les lieux les plus fréquentés par les porteurs de téléphones portables et de catégoriser ces lieux en fonction de leur usage. Tout comme les algorithmes de détection de stop, les méthodes s'appuyant sur la récurrence ne permettent de retrouver que les lieux les plus fréquentés, soit les lieux de résidence ou les lieux de travail.

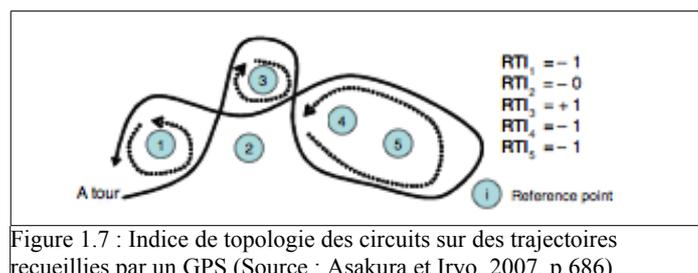
2) Comprendre les trajectoires des individus ou objets mobiles

Jusqu'à présent, nous avons présenté des techniques permettant de connaître les lieux pratiqués par les individus, mais les capteurs urbains tels que les GPS ou les téléphones portables permettent surtout de suivre les trajectoires des usagers. Si l'on s'intéresse aux trajectoires, sans agrégation, ces données sont illisibles. C'est pourquoi de nombreuses techniques issues du *datamining* proposent de détecter des motifs (*patterns*) de mouvement. G. Andrienko, N. Andrienko, S. Rinzivillo et alii (2009) proposent de combiner agrégation (*clustering*) et classification pour construire des groupes d'objets mobiles. Le *clustering* est une des techniques largement utilisée en fouille de données pour traiter d'une grande masse de données: le niveau individuel étant trop difficile à comprendre, l'agrégation permet de regrouper des individus partageant des caractéristiques communes.

- Agréger la trajectoire à l'aide de la topologie des circuits

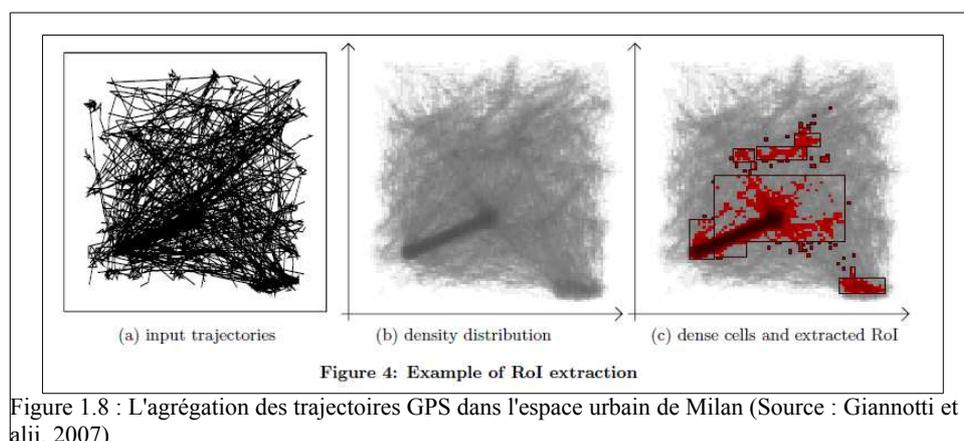
Y. Asakura et T. Iryo (2007) proposent ainsi de créer des agrégats de trajectoires en utilisant la topologie des circuits effectués par les touristes. Ils proposent de construire un indicateur de topologie des circuits à partir des données issues des GPS. L'indice de topologie est un

vecteur comprenant des valeurs calculées en fonction de la direction du circuit par rapport à un point de référence. Dans le cas du point de référence 1 (Figure 1.7), l'indice de ce point vaut -1 car le circuit passe autour de ce point dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Pour le point 3, cette valeur est de +1, car le circuit passe dans le sens des aiguilles d'une montre autour de ce point. Dans le cas du point de référence 2, la valeur est 0 car le circuit passe à proximité (et pas autour) du point dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.



A partir de ce dernier, un indice de dissimilarité mesure la distance existante entre différents types de circuits. Une classification ascendante hiérarchique permet ensuite de dégager des circuits types empruntés par les touristes. Les auteurs proposent aussi une variante de cette méthode utilisant en outre, un appariement au réseau routier afin de mettre en évidence d'autres aspects des déplacements des touristes.

- La densité des trajectoires pour définir des agrégats



M. Nanni et D. Pedreshi (2006), F. Giannotti, M. Nanni, F. Pinelli et alii (2007) proposent d'utiliser un algorithme d'agrégation basé sur la densité des trajectoires pour dégager des *clusters* de trajectoires spatio-temporelles (Figure 1.8). Au lieu de prendre en compte la seule distance entre trajectoires, cet algorithme considère la densité spatio-temporelle des trajectoires et permet d'identifier des « *T-patterns* » qui décrivent des comportements spatio-

temporels récurrents (Giannotti et alii, 2007).

- L'agrégation, un premier pas vers la prédiction

L'agrégation spatio-temporelle des trajectoires peut être perçue comme un premier pas vers la prédiction. A. Monreale, F. Pinelli, R. Trasarti et alii (2009) proposent un modèle de prédiction, la méthode « wherenext » qui permet de prédire la prochaine localisation d'un objet en mouvement à partir de motifs spatio-temporels identifiés au préalable.

La spécificité des différents capteurs implique néanmoins l'élaboration de méthodologies propres aux caractéristiques de ceux-ci :

« As potential sources of valuable information and knowledge, these data call for scalable methods of analysis, which must take into account the particular features of the geographical space: its heterogeneity, variety of properties and relationships, spatial and temporal autocorrelation, anisotropy, and scale dependence. As all these features cannot be adequately modeled (yet) for fully automatic processing, the analysis relies heavily upon the human analyst's sense of the space and place and tacit knowledge of their inherent properties and relationships. » (G. Andrienko et alii, 2009, p.3)

Il reste qu'on trouve dans ces quelques exemples une magnifique illustration de la conceptualisation proposée en analyse spatiale par Peter Haggett, pour qui le mouvement est à l'origine de la construction de l'espace géographique (Haggett, Cliff et Frey, 1977).

3) Des régularités sur les mobilités «redécouvertes»

Les capteurs urbains enregistrent des données individuelles, mais celles-ci peuvent rarement être analysées à l'échelle de l'individu. On se sert alors de ces comportements individuels pour analyser le résultat collectif à l'échelle de la ville, sous forme de flux de déplacements.

M. González et alii (2008) utilisent les traces numériques de 100 000 usagers du téléphone portable suivis pendant six mois pour dégager des «*patterns*» dans les mobilités. Il en ressort que, contrairement à ce qui avait été montré en s'appuyant sur le processus de diffusion des billets de banque, les mobilités humaines retracées à partir de la localisation des téléphones portables ne correspondent pas à un vol de Lévy. Le vol de Lévy est un modèle utilisé pour décrire les trajectoires des animaux, c'est une marche aléatoire pour laquelle la distribution de la longueur des pas suit une loi de puissance. Ainsi, une particule suivant un vol de Lévy aura de fortes chances de parcourir de grandes distances en un seul mouvement. Au contraire, M. González et alii (2008) arrivent à la conclusion que la plupart des usagers réalisent des trajets relativement courts, et rares sont ceux qui se déplacent sur de longues distances. M. González et alii retrouvent ainsi le fait bien connu des sociologues selon lequel, d'une manière générale, les trajectoires humaines obéissent à des routines spatio-temporelles. C. Song et alii (2010)

évaluent la part d'aléatoire et de routine dans les mobilités humaines. Pour cela, ils mesurent l'entropie existante dans les déplacements individuels à partir des données de localisation de téléphones portables. Il en résulte que 93% des déplacements peuvent être prédits, mais surtout qu'il n'y a pas de variation quelle que soit la population considérée : la régularité serait intrinsèque à l'activité humaine (Song et alii, 2010).

Dans la lignée de ces travaux sur les mobilités observées à une échelle collective, S. Isaacman, R. Becker, R. Cáceres et alii (2010) étudient la distance maximale parcourue par le détenteur d'un téléphone portable en une journée et comparent les comportements des habitants de deux villes états-uniennes. Ils montrent ainsi que les habitants de Los Angeles se déplacent en moyenne sur une distance plus grande que ceux de New York. Mais les habitants de New York, quand ils se déplacent loin, se déplacent très loin. Ils comparent leurs résultats à ceux de M. González et alii (2008) pour un pays d'Europe : la distance parcourue par les Etats-Uniens est 4 à 5 fois plus grande que celle parcourue par les Européens. A. Sevtsuk, C. Ratti (2010) montrent eux aussi que les mobilités quotidiennes obéissent à des routines spatio-temporelles dans la ville de Rome. Au lieu de se focaliser sur les trajectoires des individus, ils se concentrent sur une étude longitudinale de l'activité des antennes du réseau de téléphonie mobile (en prenant comme mesure le volume des communications). La variabilité temporelle explique 50 % des résultats observés, ce qui, pour les auteurs, laisse supposer que dans 50% des résultats, ce sont les routines qui expliquent l'activité des antennes du réseau.

A. Noulas, S. Scellato, R. Lambiotte et alii (2011) utilisent des données issues de Flick'R, soit 925 000 usagers s'enregistrant dans 5 millions de lieux au sein de 34 métropoles pour trouver des régularités dans les mobilités. Ils mobilisent la théorie de S. Stouffer sur les opportunités pour expliquer les déplacements. La théorie de Stouffer propose une alternative au rôle classique que joue la distance dans les interactions spatiales. Elle propose de prendre en compte non pas la distance comme une mesure continue mais comme un critère ordinal qui permet de classer les destinations possibles. Les individus font donc leur choix de déplacement en fonction des opportunités (cf Chapitre 2, p.52). D'après cette étude, les facteurs expliquant les déplacements seraient davantage la densité et la distribution spatiale que les distances en elles mêmes (Stouffer, 1960) .

J. Candia et alii (2008) utilisent la localisation des appels de téléphones portables pour étudier les phénomènes collectifs et l'émergence d'anomalies. Les événements anormaux sont facilement repérables à l'aide des outils de la théorie de la percolation. La percolation étant un processus physique qui décrit une transition d'un état d'un système à un autre. Les événements anormaux donnent, en effet, naissance à des fluctuations corrélées dans l'espace.

A. Bazzani, B. Bruno, S. Rambaldi et alii (2010) montrent que même si le comportement individuel est aléatoire, les comportements collectifs obéissent à des lois statistiques générales concernant la mobilité des individus. A. Bazzani et alii se placent dans une analogie avec un

gaz de Boltzmann. Les individus qui se déplacent sont considérées comme des particules qui interagissent le moins possible entre elles et qui disposent des mêmes ressources spatiales. A partir de ces hypothèses, trois lois statistiques peuvent être vérifiées: la distribution de la distance parcourue correspond à une distribution de Boltzmann (donc conforme à la distribution observée pour des particules de gaz qui auraient les mêmes hypothèses d'indépendance au départ), la distribution du temps passé dans chaque activité correspond à une loi de Benford¹⁹, et enfin la distribution du degré de répétition des activités semble être un mélange de ces deux modèles.

Ces études mobilisent des modèles statistiques issus d'autres disciplines (le plus souvent de la physique) et s'intéressent aux données de téléphonie mobile comme outil de description et de prédiction de comportements collectifs plus globaux. La diversité des approches rend pourtant difficile une vision unifiée des mobilités à partir de cette nouvelle source d'information. D'autres auteurs, ayant une approche plus territoriale, s'intéressent à caractériser la mobilité dans une ville particulière à partir des données de téléphonie mobile.

1.2.2.2. Des indicateurs d'activité urbaine

Les capteurs urbains nous apportent une information considérable sur le fonctionnement urbain. Ils permettent, par exemple, d'appréhender les «densités diurnes» (Mille, 2000) au sein de la ville. En effet, des capteurs comme les téléphones portables peuvent être utilisés comme des indicateurs de présence dans la ville, et peuvent par conséquent fournir une information que les moyens traditionnels de collecte (recensement de la population, enquête...) ne permettent pas. Connaître les rythmes d'activité de l'espace urbain est ainsi un véritable atout pour les gestionnaires aussi bien pour la gestion quotidienne de la ville que pour la gestion des événements sortant de l'ordinaire (situations de crise ou événements organisés mais conduisant à la formation de foules).

En 2007, S. Krygsman, T. de Jong, et P. Schmitz collectent des données sur 83 participants volontaires afin de montrer que les téléphones portables peuvent être une source d'information utile pour étudier les mobilités et les rythmes de la ville. Mais ils pointent aussi l'une des limites des données de téléphonie mobile : le manque d'information sur les motivations et le contexte des déplacements. Grâce à des méthodes d'agrégation, J. Reades, F. Calabrese et C. Ratti (2009), F. Girardin, F. Calabrese et alii (2008), F. Calabrese, J. Reades et C. Ratti (2010), R. Ahas, A. Aasa, S. Silm et alii (2010) déterminent les profils spatio-temporels des différents lieux de la ville. Ces auteurs parlent de «signature temporelle» des lieux. Ils utilisent les données issues des capteurs urbains tels que les GPS, les téléphones portables ou encore les photographies mises en ligne sur Flickr pour cartographier l'évolution des différents lieux de la ville au fil de la journée. Dans leur article de 2010, F. Calabrese et alii s'intéressent au

19 Cette loi veut que dans une distribution de données statistiques, le premier chiffre non nul le plus fréquent soit 1, le suivant 2 etc...

campus du M.I.T et collectent pendant 14 semaines du printemps 2006 les connexions wifi de 20 000 usagers. En couplant ces données avec une typologie des différents espaces du campus et en mobilisant des méthodes issues du traitement du signal, des signatures temporelles, ces auteurs identifient des catégories spatiales fonctionnelles, permettant ainsi de catégoriser les pratiques de l'espace du campus au fil d'une journée.

A l'échelle d'un territoire plus large, R. Ahas et alii (2010) proposent d'analyser les migrations domicile-travail en fonction des différentes charges de population présente dans l'agglomération de Tallinn à différents moments de la semaine et de la journée. Ils montrent ainsi les différentes temporalités d'usage du centre ville de Tallinn et de sa banlieue et la relative indépendance de fonctionnement des régions plus éloignées.

Les enregistrements du réseau de téléphonie mobile et les photographies disponibles sur le site Flickr'R peuvent en outre apporter facilement des informations sur la nationalité des usagers, permettant de réaliser une cartographie des pratiques touristiques et de différencier l'espace urbain pratiqué par les locaux de celui pratiqué par les touristes. F. Girardin et alii (2008, 2009) se lancent ainsi dans une cartographie des lieux visités par les touristes et par les locaux à Rome et Florence et dans la cartographie de « l'attractivité » des quartiers de New York en fonction de l'origine des visiteurs. Les données de téléphonie mobile et les photographies géolocalisées déposées sur Flickr'R leur permettent de comparer l'attractivité relative des différents sites touristiques New-Yorkais et d'analyser les différences entre la semaine, où de nombreux locaux sont présents sur Manhattan et le week-end, où la présence touristique domine largement, notamment dans le centre d'affaires²⁰.

D'autres chercheurs, tout en s'intéressant aux rythmes urbains, privilégient une approche centrée sur les événements sociaux. En effet, les données numériques comme les données de téléphonie mobile peuvent être utiles pour détecter des événements anormaux (Candia et alii, 2008) mais aussi pour représenter l'intensité d'un événement festif comme une exposition artistique (Ratti, Pulselli, Williams et alii, 2006) ou un concert de Madonna (Calabrese et Ratti, 2006). Lors de ces événements, les auteurs font l'hypothèse que le fonctionnement habituel de la ville est modifié, et que se met alors en place une organisation temporaire des mobilités et des sociabilités liée à l'évènement. C'est dans cette thématique que s'inscrivent les travaux de C. Cariou (2010) sur la fête de la musique et la nuit blanche à Paris. A l'aide d'une comparaison entre un week-end « standard » dans Paris et le week-end de la fête de la musique du 21 juin 2008, C. Cariou construit des visualisations des bouleversements de l'espace urbain. B. Elissalde, F. Lucchini et S. Freire-Diaz (2011) ont aussi pour ambition de représenter et d'analyser les configurations urbaines éphémères : à l'aide de données de téléphonie mobile, ils s'intéressent aux sur-concentrations inhabituelles et inattendues d'usagers pendant l'Armada de Rouen de 2008 (large rassemblement de voiliers à Rouen qui a

20 Exemple avec les visualisations d'Eric Fischer, p.75.

lieu tous les 4 à 5 ans). Grâce à la précision spatio-temporelle des données utilisées, B. Elissalde et alii mettent en évidence le déplacement des centralités urbaines par rapport à une situation « normale » mais aussi tout au long de l'Armada.

Les déplacements, eux-mêmes peuvent suivre des rythmes différents. S'intéressant au mouvement à l'échelle intra-urbaine, les travaux de Borgnat et alii (2011) empruntent des méthodes issues du traitement du signal pour analyser les caractéristiques liées à l'utilisation des vélo'v, un service urbain de location de vélo à Lyon, et les caractéristiques liées à l'organisation du service en lui-même. L'utilisation des vélo'v suit une évolution non-stationnaire sur l'ensemble de la période considérée (2005-2007) et une évolution cyclostationnaire si on considère un cycle d'une semaine. L'activité des stations est fort disparate selon leur profil : les stations situées dans le quartier de la Croix Rousse, en hauteur, ont par exemple beaucoup plus de départs que d'arrivées, les stations situées autour du centre ont des flux polarisés vers le centre. Le profil des quartiers peut expliquer ces différences d'activité : les stations disposées autour du parc de la tête d'or, parc d'une centaine d'hectares situés dans Lyon, sont davantage sollicitées le week-end, tandis que les stations situées dans le campus de Villeurbane obéissent à de réels rythmes pendulaires (Merchez et Rouquier, 2011). L'analyse de la vitesse permet de différencier les usages de ce mode de transport en fonction du moment de la journée : les usagers roulent plus vite le matin ou les jours de semaine et d'une manière générale, la vitesse des vélo'v entre 12 et 14 km/h en fait un moyen de transport concurrentiel.

1.2.2.3. Les interactions spatiales revisitées

Les variations d'activité urbaine au sein des quartiers sont le reflet des déplacements des individus entre ces quartiers. Ainsi, les différences existantes entre les lieux de la ville créent des interactions entre ceux-ci, interactions matérialisées par des flux de population ou par des flux immatériels comme les communications.

A une échelle plus petite, les données numériques comme les données de téléphonie mobile ou fixe ont permis d'étudier les interactions entre villes ou régions. De nombreux auteurs se sont penchés sur les relations entre différents espaces (Krings, Calabrese, Ratti et alii, 2009; Blondel, Krings et Thomas, 2010; Ratti, Sobolevsky, Calabrese et alii, 2010). En s'appuyant sur les travaux existants autour des réseaux sociaux, ces auteurs ont reconstruit des limites régionales basées sur ces relations téléphoniques. Ces limites montrent bien dans le cas de la Belgique l'impact de la langue sur l'intensité de relations entre les villes. Dans le cas de la Grande-Bretagne, l'analyse du réseau de communication a permis de montrer l'importance des liens entre le Pays de Galles et l'ouest des Midlands et l'intégration relative des différentes régions au Royaume-Uni. Ces travaux ont mobilisé des algorithmes de partitionnement issus de la science des réseaux, algorithmes qui se sont montrés efficaces (à 80%) pour reconstruire une carte des régions administratives britanniques. Les interactions sociales peuvent aussi être

corrélées aux mobilités des individus. S. Phithakkitnuloon, Z. Smoreda et P. Olivier (2011) étudient, à partir de compte-rendus d'appels couvrant la période d'une année, la relation entre les déplacements et l'inscription territoriale du réseau social des individus. Il en résulte que 80 % des déplacements des individus ont lieu dans un rayon de 20 km autour de la localisation de la plupart de leurs relations proches.

Plus récemment, d'autres auteurs se sont penchés sur la relation entre les mobilités et les structures spatiales en s'appuyant sur des données issues des services de transport comme les cartes de transport Oyster à Londres en Grande-Bretagne (Roth et alii, 2010) et les services de location de vélo, vélo'v à Lyon (Borgnat et alii, 2011). Ces équipes pluridisciplinaires, constituées de géographes mais aussi de physiciens avaient pour objectif de révéler l'activité spatio-temporelle de la ville par l'étude des mouvements de population en s'appuyant aussi sur la science des réseaux. Les travaux de C. Roth et alii (2010) réinterrogent la question du modèle de la ville polycentrique avec des données de mobilité, issues de l'utilisation des cartes de transport du métro londonien. Ils étudient sur une semaine 11,22 millions de trajets concernant 2,03 millions d'usagers de cartes *Oyster*. L'objectif est de fournir un indicateur supplémentaire de polycentrisme, différent de la mesure des pôles d'emploi plus classiquement utilisée pour définir les centres d'activité. A partir d'une classification hiérarchique des flux, ceux-ci et leurs point de départ ou d'arrivée sont agrégés jusqu'à obtenir des centres stables. Les résultats montrent que les trajets effectués sont principalement des trajets locaux et que les mouvements sont concentrés dans un nombre réduit de centres. Le second résultat de cette étude confirme l'hypothèse de l'anisotropie de l'espace : les dix plus importantes stations montrant une anisotropie plus importante dans une direction opposée au centre.

Enfin, P. Borgnat et alii (2011) se servent aussi des outils de la science des réseaux pour construire des communautés de stations de vélo'v ayant davantage de flux entre elles qu'avec les autres stations. Ils utilisent un algorithme de détection d'agrégats (communautés) ne prenant pas en compte de caractéristiques géographiques et en arrivent à la conclusion que la géographie joue un rôle important sur les déplacements en vélo : les stations les plus proches échangent plus entre elles que les stations éloignées. Ce résultat est confirmé par le fait que la plupart des déplacements sont des déplacements de courte distance (inférieure à 2 km). Ils essaient aussi de caractériser ces agrégats de manière dynamique, construisant différents agrégats spatio-temporels correspondant davantage aux différences entre les déplacements de loisirs et les déplacements pendulaires liés à l'activité professionnelle.

Conclusion du chapitre 1

Les chercheurs sont aujourd'hui confrontés à un nouveau paysage d'outils mais aussi de sources de données. Ces sources de données sont collectées suite à des usages passifs des individus, mais peuvent aussi l'être suite à une démarche volontaire des individus. Ces nouvelles données viennent, non pas remplacer, mais compléter les sources de données existantes car elles offrent de nouvelles opportunités. Ce sont des données massives, permettant un suivi temporel fin des pratiques, et qui sont liées à des usages nouveaux des technologies de l'information et de la communication.

La collecte et l'utilisation de ces informations à un tel niveau désagrégé amènent néanmoins de nombreux questionnements sur la propriété, la protection et l'utilisation des données individuelles. La disponibilité de sources de données collectées à l'échelle individuelle n'est pas nécessairement synonyme de restitution à ce niveau. Elle permet plutôt de s'affranchir des cadres classiques de collecte d'information, cadres qui contraignent fortement les analyses possibles.

Cependant, aussi bien l'évaluation de la qualité de ces données que les méthodologies à utiliser pour les exploiter restent des champs de recherche. De nombreux travaux, relevant de champs disciplinaires variés tentent de produire des connaissances sur l'organisation de l'espace et sur les mobilités à partir de ce type de données. Chaque source étant spécifique, ces travaux doivent surmonter les difficultés méthodologiques liées à la nature des données. Ces travaux mettent souvent en évidence des aspects que les sources de données classiques ne permettent pas de traiter et parmi eux, la dimension temporelle de l'organisation de l'espace et des mobilités.

Chapitre 2 : Les mobilités individuelles dans l'organisation de l'espace urbain

L'accessibilité accrue de données géolocalisées permet d'approfondir la connaissance des mobilités spatiales. La mobilité spatiale se définit comme un ensemble de déplacements d'un lieu à un autre. Elle peut concerner aussi bien des personnes que des biens matériels ou immatériels. La mobilité spatiale, qui touche quasiment tous les usagers de l'espace urbain, est un enjeu de gestion du territoire : gestion des flux entrants et sortants, mais aussi des infrastructures de transport et des inégalités face à la mobilité et à l'accessibilité des lieux. Ces questions sont essentielles au moment même où les aménageurs et géographes s'interrogent sur une gestion durable du métabolisme urbain.

Dans les années 1990, il se serait produit au sein des sciences sociales un « mobility turn » (Sheller, 2006), par lequel la mobilité aurait pris une place centrale dans les sciences sociales, trop longtemps focalisées sur des définitions et analyses statiques, inspirées par le structuralisme. En parallèle de ce changement de paradigme scientifique, avec le développement des transports et le rétrécissement des distances au sein du système monde (Dollfus, 1997), les mobilités matérielles et immatérielles ont augmenté, renforçant le rôle des mobilités dans l'organisation de l'espace mondial. La définition de la mobilité spatiale (Cattan, 2004 ; Lussault et Stock, 2003) a donc évolué pour englober non seulement le déplacement, mais un ensemble plus large : comprenant à la fois le mouvement, mais aussi les conditions sociales, économiques et techniques qui permettent ce mouvement. Selon cette acception, la relation de la ville à la mobilité est une relation réciproque (Chalas, 2008), où la mobilité fait la ville mais se transforme aussi pour s'adapter au contexte urbain.

Ainsi, coexistent deux acceptations de la mobilité, la mobilité résultante, telle que définie par M.-H. Massot et J.-P. Orfeuil (2008), qui considèrent les mobilités comme des déplacements induits par les différences spatiales, les individus devant se déplacer d'un lieu à un autre pour exercer leurs activités. Cette mobilité résultante était à l'origine désignée par le terme migration, lui aussi utilisé pour décrire les mobilités du quotidien ; les migrations domicile-travail étant appelée migrations alternantes, avant que les démographes ne préfèrent employer le terme de « navettes » pour les distinguer les déplacements quotidiens de ceux impliquant un changement de lieu de résidence (Courgeau, 1988). Ce point de vue sur les mobilités est lié à des hypothèses fortes sur l'organisation de l'espace urbain et sur son rôle structurant dans l'expression spatiale des mobilités.

A l'inverse, les mobilités comme les mobilités résidentielles peuvent être perçues comme organisatrices de l'espace urbain, et ce, en raison des aptitudes des acteurs à se défaire des contraintes et à choisir leurs mobilités : l'amélioration des conditions de mobilité, la diversification des rapports au temps, ont donné aux acteurs davantage de choix résidentiels, contribuant à la réorganisation de l'espace urbain. Ainsi, la mobilité n'est pas subie par tous

les acteurs en raison des seules « lois » de l'espace, mais ces derniers peuvent adopter des stratégies qui, en retour, influent sur l'évolution des formes urbaines. Ces deux aspects de la mobilité, résultante et organisatrice, sont essentiels pour comprendre la relation au territoire dans lequel elle s'inscrit.

Dans ce travail de thèse nous nous en tiendrons à une définition, certes restrictive, de la mobilité spatiale, en mettant l'accent sur la mobilité résultante, c'est à dire sur la relation forte qui existe entre les structures d'organisation de l'espace urbain et la mobilité. Les dimensions organisatrices de la mobilité ne seront pas analysées, faute de données disponibles sur les individus eux-mêmes, sur les choix qui motivent les mobilités et sur le rôle possible de l'évolution des mobilités sur l'organisation de la ville. En effet, les évolutions de la mobilité et de la structure urbaine ne peuvent pas s'analyser sur une temporalité très courte et une telle approche nécessiterait un suivi des mobilités sur une période de plusieurs années, voire de plusieurs décennies. A l'inverse, les mobilités peuvent réorganiser l'espace urbain de manière temporaire, pour une manifestation ou au fil de la journée et cette réorganisation du quotidien ou de l'éphémère peut être étudiée à l'aide de données géolocalisées comportant une inscription spatio-temporelle précise.

Les données numériques comme des données issues des usages des téléphones nous fournissent deux types d'information, une information de localisation et une information temporelle, utiles pour explorer de nouveaux aspects de certains types de mobilités. En effet, les données issues des méthodes de collecte classique, élaborées à l'époque pour répondre à des problématiques d'organisation des transports, ne permettent pas de comprendre les mobilités individuelles dans leur diversité. Parmi les niveaux spatio-temporels auxquels on peut analyser la mobilité, on trouve :

Niveau	Micro-géographique : individu	Méso-géographique : espace urbain	Macro-géographique
Court terme : quotidien	Trajectoires individuelles	Mobilités quotidiennes	Tourisme
Moyen terme	Trajectoires résidentielles	Mobilités résidentielles	Migrations interrégionales Mobilités étudiantes
Long terme	Trajectoires migratoires		Migrations

Tableau 2.1: Les niveaux spatio-temporels de l'observation des mobilités

La mobilité peut ainsi se saisir à différents niveaux d'analyse, du niveau agrégé au niveau individuel, chacun de ces niveaux disposant de ses propres cadres théoriques. A partir des données existantes, les chercheurs tentent de saisir la diversité des approches de ce

phénomène ainsi que ses nombreuses évolutions. Mais la mise à disposition de nouvelles sources d'information vient offrir de nouvelles possibilités d'analyse.

Dans le cadre de ce travail de thèse, nous nous intéressons plus particulièrement à la région Ile-de-France. L'organisation territoriale de l'Ile-de-France illustre la nécessité de disposer de données qui permettent de saisir la mobilité à différentes échelles, et de comprendre le fonctionnement polycentrique de la région.

II.1. Des cadres théoriques pour saisir les mobilités urbaines

Pour saisir la mobilité, différentes approches existent à des niveaux d'agrégation différents : chacun de ces niveaux permet de comprendre certains aspects de la mobilité. Ces niveaux d'agrégation posent aussi une question fondamentale, celle de l'articulation entre une pratique individuelle et l'organisation de l'espace urbain.

II.1.1. Les flux de mobilité

En raison du mode de collecte des données sur la mobilité, l'approche agrégée a été pendant longtemps privilégiée pour comprendre les différentes formes de mobilité. L'approche agrégée s'intéresse à l'espace en tant que source du mouvement, révélant l'anisotropie propre à un espace urbain organisé. Cette organisation asymétrique de l'espace engendre des flux de déplacements de population entre les lieux, les lieux les plus attractifs attirant les personnes et les lieux les moins attractifs étant des sources de départ. Ainsi, ces flux de déplacements existent à différentes temporalités, la temporalité du quotidien avec les navettes qui voient les espaces résidentiels se vider de leurs actifs au début de la journée de travail et les retrouver à la fin de la journée, ou encore la temporalité plus longue des migrations où les individus quittent un lieu ou un pays pour un autre (à la différence près que dans les migrations, il n'y a pas de cycle avec un déplacement puis un retour au lieu d'origine).

- Les interactions spatiales au cœur de la géographie

Reprenant l'héritage laissé par la physique newtonienne, des géographes se sont inspirés du modèle gravitaire pour construire un modèle d'interaction spatiale permettant d'expliquer les flux entre différents lieux (Ullmann, 1954; Wilson, 1970). Cette théorie des interactions spatiales s'utilise particulièrement bien dans le cas des relations interurbaines, mais elle permet aussi d'analyser des relations au sein d'un seul espace urbain. L'hypothèse sous-jacente aux interactions spatiales est celle de l'anisotropie de l'espace. Les différenciations spatiales engendrent du mouvement mais de manière réciproque, elles ont été construites et renforcées sur le long terme par ces mouvements. Les différenciations spatiales s'expliquent par :

- la dissociation au sein de l'espace des activités : dissociation des lieux de résidence et de travail qui créent des déplacements domicile-travail,
- mais aussi par certaines spécialisations de l'espace : spécialisation de certaines régions dans la production industrielle à l'origine de flux matériels,
- et par des différences constitutives comme les régions du sud ensoleillées qui attirent des flux de touristes pendant les vacances.

Ces flux sont liés à l'évolution des transports et des communications. Ainsi, au moment où le chemin de fer a desservi l'ensemble du territoire français, les régions agricoles se sont spécialisées dans un type de production. Il n'était, en effet, plus nécessaire d'entretenir des cultures qui étaient plus productives dans d'autres régions et qui pouvaient être transportées facilement grâce au rail. Les interactions spatiales, nées des différentiels entre les lieux sont au cœur de la géographie (Pumain, Saint-Julien, 2001)

« Human population is not regarded as a static feature (the dot maps of conventional geographic analysis) but as complex of oscillating particles, with short loops connecting places of sleep, work and recreation, and longer loops connecting old hearths and new areas of migration. [...] Each of these types of movement leaves its special mark on the face of the earth. » (Haggett, 1977, p.27)

- Une analogie avec une loi issue de la physique

Ces flux laissent une empreinte sur le territoire, mais ils naissent aussi des différences entre les éléments de ce dernier. Afin de comprendre ces interactions spatiales, les géographes ont utilisé une analogie avec la loi de la gravitation de Newton. En physique, cette loi qui s'appelle aussi loi de l'attraction universelle, explique l'attraction entre deux corps par la gravité. Les géographes, s'inspirant de cette loi, ont formalisé la relation entre les « masses » des objets géographiques, la distance qui les sépare et l'intensité des relations entre les objets géographiques considérés. La première formalisation du modèle gravitaire a été faite par le démographe E.G. Ravenstein dans les années 1880 (Haggett, 1977). Ravenstein, en s'appuyant sur l'analyse des migrations en Angleterre et au Pays de Galles, a remarqué que les migrants avaient tendance à aller vers les grandes villes et que les flux migratoires étaient sensibles à la distance entre le lieu d'origine et le lieu de destination. Selon ce modèle gravitaire formalisé plus tard par Stewart (1948), le nombre F_{ij} des interactions entre deux zones géographiques i et j est proportionnel au produit des masses M_i et M_j de chaque zone et inversement proportionnel à la distance d_{ij} qui les sépare (Pumain et Saint-Julien, 2001) :

$$F_{ij} = k M_i M_j d_{ij}^{-a}$$

Les deux paramètres k et a représentent, pour k , un taux de mobilité (qui dépend aussi des

unités choisies pour exprimer les flux et les masses) et pour a , la rugosité de la distance (plus la distance est élevée, moins il y aura de flux).

Si la formulation du modèle gravitaire paraît simple, ses interprétations sont nombreuses. Il existe trois grandes familles de modèles gravitaires (Wilson, 1970) : le modèle sans contraintes, le modèle avec contrainte simple et le modèle avec contrainte double.

- Le modèle sans contraintes impose seulement pour l'estimation des paramètres que la somme des flux observés soit égale à la somme des flux estimés. Dans ce modèle, l'intensité des flux entre deux lieux ne dépend que de leurs caractéristiques propres.
- Les modèles avec contrainte simple sont les modèles les plus utilisés dans l'opérationnel. Dans ces modèles, les sommes originales de l'ensemble des flux émis ou reçus sont supposées connues.
- Les modèles avec contraintes doubles ont pour hypothèse la conservation de la somme des flux émis et reçus.

Parmi cette troisième famille de modèles, A. Wilson a proposé une interprétation prenant en compte la maximisation de l'entropie du système. L'entropie est une notion dérivée de la physique mesurant le degré de désordre d'un système par rapport à son état le plus probable. Le flux T_{ij} entre deux zones i et j s'écrit ainsi :

$$T_{ij} = A_i O_i B_j D_j (\exp^{-b C_{ij}})$$

C_{ij} représente le coût de franchissement de la distance de i à j , O_i , la masse du lieu d'origine, D_j , la masse du lieu de destination, A_i et B_j sont des paramètres calculés de façon itérative et permettent la conservation du total des flux entre les valeurs estimées et observées. Le modèle de Wilson est un des modèles qui a connu le plus de succès en raison de son cadre théorique solide et de son efficacité opérationnelle.

- Un modèle avec de nombreux paramètres

Le modèle gravitaire est un des modèles les plus utilisés pour prédire les flux, ses applications sont nombreuses, y compris pour les flux immatériels. D. Josselin et B. Nicot (2003) utilisent ainsi le modèle gravitaire pour analyser l'évolution des échanges commerciaux entre l'Europe de l'ouest et les pays d'Europe centrale et de l'est dans le contexte de la fin des années 90 et donc de l'élargissement du marché européen.

Les masses et la distance ne sont pas définies à l'avance mais dépendent fortement du contexte de l'étude. Ainsi D. Pumain et T. Saint-Julien (2001) font remarquer que pour étudier des migrations résidentielles, la population résidente des communes d'origine et de destination peuvent servir de masse, tandis que pour des flux domicile-travail, la masse de la

zone d'origine peut être la population résidente, tandis que la masse de la zone de destination peut être le nombre d'emplois. Dans d'autres modèles, des indicateurs spécifiques sont calculés pour permettre une estimation de la masse (par exemple, le volume des ventes, ou la surface commerciale).

Qui plus est, à distance égale, et à masse égale, l'inscription territoriale des origines et des destinations peut aussi jouer sur les flux ainsi par exemple, N. Cattan et C. Grasland (1994) montrent qu'en République Tchèque, les migrations dépendent de la population des régions d'origine et de destination, de la distance qui sépare ces régions mais aussi du fait qu'elles soient localisées ou pas dans le même Etat. Ainsi, le modèle gravitaire dans le cas des mobilités transfrontalières met en évidence des effets de barrière.

Notion fondamentale en géographie, la distance dij ne se limite pas à la simple distance euclidienne, son évaluation est liée à son utilisation. Dans les années 30, le modèle gravitaire est utilisé par W. Reilly (1931) pour étudier l'attraction des commerces de détails. Mais il a été très critiqué par son aspect déterministe et a été affiné par D. Huff. Le modèle de D. Huff (1964) permet de calculer les différentes aires d'influence de plusieurs attracteurs en distinguant des gradients d'attractivité pour chaque pôle et les zones d'indifférence. Ces applications du modèle restent encore très utilisées en géomarketing pour déterminer la zone de chalandise d'un commerce et la part de marché à l'intérieur de cette zone de chalandise. S. Stouffer (1960) propose d'interpréter la distance, non pas comme un caractère continu mais comme un caractère ordinal (évoqué dans le chapitre 1, p.40). En effet, les opportunités ne sont pas réparties de manière homogène sur le territoire. Les individus, qui en raison de leur localisation disposent de moins d'opportunités seront amenés à se déplacer davantage. Le coût de la distance se mesure alors en fonction des opportunités disponibles à une distance inférieure, d'où la dénomination de ce modèle : « opportunités interposées ». Ainsi la distance n'est pas une simple mesure physique mais elle dépend de nombreux critères, comme l'accessibilité, ou encore « ... *intègre des éléments non quantifiables comme l'horizon économique, les barrières psychologiques aux échanges ou les obstacles politiques* » (Josselin et Nicot, 2003).

Le modèle gravitaire, particulièrement utilisé pour prédire les flux, s'adapte aux situations par le choix des paramètres a et k et par le choix des masses et distances considérées et de la relation entre ces masses et distances. Le pouvoir explicatif de la loi d'attraction universelle newtonienne qui résidait dans la notion de gravité est donc diminué au profit d'un pouvoir prédictif. Le modèle gravitaire est, en effet, souvent utilisé pour prédire les flux davantage que pour les expliquer.

II.1.2. Les mobilités individuelles : ressorts et contraintes

La mobilité est un phénomène multiscalaire révélant à la fois la capacité du territoire à attirer les individus, mais aussi les décisions propres à ceux-ci. Les flux agrégés entre régions sont le fait d'individus divers et l'une des limites du niveau agrégé pour saisir la mobilité est que ce niveau ne permet pas de saisir la diversité des situations individuelles et de comprendre les ressorts individuels de la mobilité.

L'approche individu-centrée des mobilités a été particulièrement dynamique à la suite des travaux de T. Hägerstrand en 1970. Dans son article « *What about people in regional science ?* », T. Hägerstrand pose les principes d'une approche individu-centrée. Il replace l'individu au cœur de l'analyse des déplacements dans ce qu'il appelle la *Time Geography* et qui sera développée dans les années 70 par « l'école de Lund ». La *Time Geography* fournit un cadre théorique pertinent pour l'analyse des mobilités individuelles et a connu un regain d'intérêt dans les années 2000 de la part de ceux qui s'intéressent aux pratiques spatiales comme résultant des systèmes spatiaux grâce au développement des outils informatiques (Kwan, 1999 ; Chardonnel, 2001).

« Called time-geography, this approach presents the originality to adress the geographical questions of individual actions through time in the spatial context of their environment. The main goal is to obtain a strong image of the geographical realities, by showing how the possibilities and constraints of the environment's structure influence the development and the construction of individual trajectories. » (Chardonnel, 2007, p.99)

- Les notions au cœur de la *Time Geography*

Ici, la dimension temporelle des mobilités individuelles est au cœur de l'analyse. Le temps est une variable explicative des pratiques individuelles, d'où l'importance accordée aux activités, aux emplois du temps, mais aussi aux contraintes spatio-temporelles. Au sein de la *Time Geography*, on distingue quelques notions de base : la trajectoire, la station (c'est à dire le lieu de stationnement), le projet et les contraintes. S. Chardonnel explicite ces différents éléments (2007) :

- la trajectoire représente l'ensemble des positions et des déplacements concrets qu'effectue un individu,
- la station est le lieu où s'exerce une activité, qui correspond souvent à une aménité,
- le projet est ce qui motive l'action.

Les individus ne sont pas définis en tant que tels, mais par les activités qu'ils exercent, les lieux où ils se rendent et les interactions qu'ils ont avec d'autres personnes. La trajectoire de chaque individu est façonnée par des contraintes :

- les contraintes de capacité qui pèsent sur les individus en fonction de capacités physiques ou techniques,
- les contraintes de coordination qui sont liées à la nécessité pour les individus d'organiser leurs mobilités autour des rythmes sociaux,
- et les contraintes d'autorité liées à l'empreinte d'un pouvoir sur le territoire.

Ainsi pour deux individus ayant le même trajet domicile-travail à effectuer, le trajet pourra varier en fonction des différentes contraintes.

- Un formalisme graphique

En parallèle du cadre théorique proposé par cette approche, cette dernière propose aussi un formalisme graphique qui a suscité de nombreux développements avec le dynamisme des systèmes d'information géographique et les visualisations en trois dimensions. La représentation graphique a pour but de montrer les configurations spatiales aussi bien que les successions temporelles (Chardonnel, 2007). Ainsi, plusieurs objets permettent de compléter les notions de la *Time Geography* et de représenter les trajectoires individuelles dans leur contexte (Thévenin, 2010) :

- le prisme spatio-temporel développé par B. Lenntorp (1976), volume contenant l'ensemble des possibilités dont dispose un individu dans l'espace et dans le temps pour exercer ses activités
- les poches d'ordre local (Lenntorp, 1976 ; Hägerstrand, 1985), des lieux rassemblant des personnes à des moments donnés permettant ainsi la réalisation des activités : les écoles qui rassemblent par exemple, élèves et enseignants pendant les horaires scolaires.

S. Chardonnel (1999) rappelle que cette formalisation graphique est davantage un outil de pensée qu'un outil analytique. Grâce aux progrès informatiques, des géographes comme M-P Kwan ont implémenté les trajectoires spatio-temporelles dans des systèmes d'information géographique. En 2000, M-P Kwan propose une méthodologie de visualisation en trois dimensions de journaux d'activité. La géovisualisation permet de faire émerger du sens de ces données complexes et tridimensionnelles. M-P Kwan propose ainsi trois types de visualisations :

- la représentation en trois dimensions de l'intensité de différentes activités,
- l'aquarium spatio-temporel contenant l'ensemble des trajectoires individuelles,
- et des trajectoires individuelles normalisées permettant de montrer les écarts à la moyenne.

Ces visualisations permettent d'étudier la relation spatiale existante entre ces activités et de faire ressortir des différences spatiales entre groupes : M-P. Kwan montre comment la géovisualisation peut faire ressortir les différences d'accessibilité entre les genres (Kwan, 1999) ou les groupes ethniques.

- Les différences d'accessibilité à la mobilité

La *Time Geography* a permis de développer une approche individu-centrée autour des programmes d'activités des personnes mobiles et de leur capacité à organiser leurs mobilités en conséquence. Cette approche a permis d'appréhender les différences possibles entre individus et les caractéristiques, parfois fortement marquées socialement des mobilités. Les individus ont un potentiel de mobilité qui varie en fonction de nombreux paramètres, dans un contexte d'éclatement des sphères d'activité et des sphères spatiales au sein des ménages (Kaufmann, 2004). Ce potentiel de mobilité, cette aptitude à la mobilité ont donné naissance à un nouveau concept, celui de « motilité » formalisé par V. Kaufmann comme « la manière dont un individu ou un groupe fait sien le champ du possible en matière de mobilité et en fait usage pour développer des projets. » (Kaufmann, 2004, p.32). La motilité comprend différents éléments : l'accessibilité, les compétences à la mobilité et l'appropriation de ces choix en fonction des projets de l'individu. Les capacités d'organisation spatio-temporelle et d'arbitrage des individus donnent tout son sens à ce concept de motilité, soutenant l'idée selon laquelle la mobilité n'est pas seulement subie mais qu'elle peut être choisie ou du moins adaptée par les acteurs.

La *Time Geography* nous apprend aussi que les individus n'agissent pas de manière complètement libre. Certaines contraintes continuent de peser fortement sur eux et d'organiser leurs mobilités : les femmes étant souvent en charge du ménage et de s'occuper des enfants, en plus de leur activité, ont ainsi une accessibilité réduite (Kwan, 1999). Même si les mobilités sont des actions fortement liées au contexte individuel, M.-H. Massot et J.-P. Orfeuil (2005) font remarquer que si la variabilité des décisions et pratiques individuelles est très grande, on ne peut pas se restreindre à ce niveau d'analyse des mobilités car chaque décision individuelle participe à la modification du phénomène à une autre échelle : ainsi le marché de l'automobile d'occasion participe à la diffusion du produit automobile ou encore, les décisions individuelles d'utiliser la voiture pour un trajet créent des effets de congestion à l'échelle de l'espace urbain. Il existe donc une articulation entre ce niveau d'action individuelle et ses conséquences à l'échelle de l'espace de la ville, mais aussi entre ce niveau d'action et le champ des possibles offert en fonction d'une contrainte forte, celle d'une organisation sociale commune.

- Le rôle encore structurant de l'emploi

Parmi les leviers de l'action individuelle, et bien que son importance relative dans les déplacements ait diminuée, l'emploi continue encore aujourd'hui à structurer fortement les mobilités. Depuis plusieurs décennies de nombreuses nouvelles formes de mobilité : mobilités de loisirs, mobilités commerciales etc... sont venues enrichir l'organisation du quotidien individuel. Quand on les interroge sur les « détours » effectués hors de leur trajet domicile-travail, 75 % des personnes déclarent avoir fait autre chose que simplement aller et revenir de leur travail (de Coninck, 2006). Mais les actifs représentent encore 40% du corps social français ce qui explique que « *la structure des horaires de travail des actifs préformate aussi largement le niveau et l'agencement de leurs mobilités.* » (de Coninck, 2006). A ces déplacements domicile-travail, s'ajoutent des déplacements pour études ou formation, fortement structurés eux aussi par des horaires de « travail ». Ces rythmes sociaux sont essentiels pour comprendre l'organisation des mobilités individuelles : ils permettent de comprendre l'intensification des déplacements lors des créneaux horaires du matin et du soir (heures de pointe), et par conséquent l'encombrement de certaines lignes de transport en commun, et de certains axes routiers, mais ils permettent aussi de dessiner une cartographie des relations entre différentes parties du territoire. Les déplacements domicile-travail ont ainsi été pendant longtemps les principaux marqueurs de l'extension de l'aire d'influence d'un pôle urbain (voir leur utilisation dans la définition statistique des aires urbaines par l'INSEE). Ils ont servi à qualifier les relations existantes entre les quartiers résidentiels et les pôles d'emploi. Le zonage en aires urbaines rattachait, par exemple, au pôle urbain, toutes les communes périphériques dont 40% de la population active se rendait dans ce pôle urbain. Bien qu'il ne soit plus le seul critère permettant de définir l'espace vécu par les individus, le lieu d'emploi demeure un élément structurant fort de l'espace et surtout aisé à connaître grâce au recensement.

II.1.3. La forme urbaine influence-t-elle les pratiques de mobilité ?

La mobilité s'inscrit au sein d'un territoire particulier avec lequel elle interagit. Au niveau local, la ville est un des cadres territoriaux dans lesquels s'inscrit la mobilité quotidienne. Mais cet objet géographique a connu sa propre évolution, évolution qui n'est pas sans relations avec la mobilité, à la fois phénomène permettant aux individus de réaliser leurs activités, mais aussi mettant en relation les différents lieux de la ville par ces mouvements de population. L'expression forme urbaine désigne non seulement la forme de l'espace urbain mais aussi l'agencement des localisations des lieux d'emploi et des lieux de résidence. La forme de la ville a évolué, justifiant que les débats autour d'une définition de la ville soient sans cesse réactualisés, les critères classiques de continuité du bâti et de densité de la population ne suffisant plus à caractériser l'espace urbain.

- L'automobile et l'étalement de l'espace urbain

A l'ère du développement durable et de la volonté de réduire les émissions de polluants issus de l'utilisation de l'automobile lors des déplacements, de nombreux travaux s'intéressent à la relation particulière qui existe entre mobilité et forme urbaine et aux modes de transports qui permettraient de réduire l'empreinte écologique des villes. Le développement des infrastructures de transport (autoroutes urbaines construites dans les années 1960, puis réintroduction des tramways...) et l'accroissement des vitesses, permettant de rendre accessibles des zones éloignées, ont incité les ménages à s'installer dans ces espaces périphériques où les coûts du foncier sont souvent moins importants. La conséquence de ce développement a été un allongement des distances domicile-travail et donc un étalement de l'espace urbain. Ainsi, le développement de l'automobile a accompagné une « transition urbaine » (Wiel, 1999), de la ville piétonne originelle au centre historique restreint, à la ville ferroviaire du 19ème siècle, dont le développement s'est fait le long des axes de transport et enfin à la ville automobile, aux densités de population qui décroissent énormément quand on s'éloigne du centre et dans laquelle l'automobile demeure le principal mode de transport, notamment pour les déplacements à l'intérieur de la périphérie.

A l'échelle d'une agglomération, la « ville automobile » se manifeste par un desserrement de ses espaces résidentiels, mais aussi de ses espaces d'activités. L'archétype de la ville automobile reste le modèle de la ville américaine, dans laquelle les résidences mais aussi les commerces et emplois se sont éloignés du centre, donnant naissance aux *Edge Cities*, des pôles d'emploi suburbain. Le desserrement de l'espace urbain et des fonctions urbaines ne se produit pas de la même manière en Europe. Les concepts utilisés aux Etats Unis, comme celui d'*Edge cities* ou encore la notion de déconcentration et de desserrement de l'emploi ne sont pas directement transposables en Europe, même si des formes de concentration de l'emploi en périphérie peuvent être remarquées dans les métropoles européennes comme Massy-Saclay, Val d'Europe en région parisienne ou encore l'aéroport Schipol d'Amsterdam (Le Néchet, 2010).

A l'échelle des relations entre les villes, l'accessibilité accrue des grandes villes du territoire français, facilitée par les lignes de train à grande vitesse rend possible, par exemple, les navettes quotidiennes entre des villes comme Paris et Lille, ou Paris et Lyon.

« Des vitesses en hausse ont donné la possibilité d'habiter loin, en distance, des lieux de travail, sans gonfler le budget-temps de transport de manière proportionnelle, et les ménages ont ainsi pu accéder à des zones de moindre tension immobilière dans lesquelles ils ont pu s'offrir un logement et/ou un environnement qu'ils ne pouvaient se payer à proximité de leur lieu de travail. Parallèlement, les actifs ont aussi profité des gains de vitesse pour élargir le périmètre de leur marché du travail accessible et aller chercher plus loin de leur domicile le meilleur emploi possible. » (Korsu, 2010, p.77).

- La ville des « proximités »

A l'inverse de cette force de déconcentration, il existe aussi des forces de concentration s'appuyant sur des logiques de centralité et de proximité qui contribuent à une modification des modes de déplacements et à une revalorisation de la marche à pied. Aujourd'hui de nombreux travaux s'intéressent aux formes de mobilité locale ou aux modes de transports doux. C. Genre-Grandpierre (2007) se concentre sur la relation entre le réseau viaire et les formes de mobilité produite. La dépendance automobile est une conséquence de la métrique de la vitesse présente sur les réseaux viaires. En effet, l'efficacité de ceux-ci s'accroît avec la portée des déplacements, rendant tous les autres types de modes de transport peu compétitifs face à l'automobile (Genre-Grandpierre, 2007). La grande efficacité des réseaux viaires entretient donc l'espacement des lieux et l'utilisation de l'automobile. C'est en agissant directement sur le fonctionnement de ces réseaux et leur métrique de la vitesse que C. Genre-Grandpierre propose de repenser les mobilités urbaines. Les métriques « lentes », favorisées, par exemple, par de nombreux arrêts répartis de manière aléatoire, inciteraient davantage à la proximité et à la réduction des déplacements en automobile.

Le réseau viaire en tant que tel joue un rôle essentiel dans le choix des mobilités, mais d'autres variables plus qualitatives expliquent aussi les choix d'itinéraires. Dans le cas de la marche à pied, A. Piombini et J.-C. Foltête (2007) comparent les itinéraires les plus « rationnels » selon l'hypothèse du plus court chemin pour des piétons avec des variables paysagères susceptibles de créer des bifurcations par rapport à l'itinéraire le plus rationnel. Ils montrent ainsi que « l'utilité » de l'itinéraire doit être redéfinie en fonction de critères qualitatifs. Les individus portent d'autant plus attention à leur environnement lors de leurs déplacements piétons, quand ceux-ci ne sont pas très courts et ont pour motif des « loisirs ».

Le regain de la marche à pied révèle l'attention portée aux proximités géographiques. La proximité entre le domicile et le travail reste un facteur de choix résidentiel et professionnel chez l'individu « hypermoderne » (Korsu, 2010). L'hypothèse de l'hypermobilité selon laquelle les distances ne seraient plus un obstacle pour l'individu, ne résiste pas à l'analyse des stratégies résidentielles de différents profils d'individus. En effet, le secteur des transports seul ne permet pas de répondre à la question du lien entre la forme urbaine et les mobilités : les individus n'agissent pas qu'en fonction du coût de la distance mais aussi en fonction d'un ensemble de facteurs au sein duquel ils effectuent des ajustements. Parmi ces facteurs, la capacité de la ville à pouvoir modifier l'offre de logements à proximité des emplois afin de les rendre plus attractifs pour les ménages est aussi un des enjeux d'une ville « cohérente ». (Korsu, Massot et Orfeuill, 2009). Le coût du logement est un facteur permettant d'expliquer la persistance de domiciles éloignés des lieux de travail. En Ile-de-France, sur les actifs résidant dans la région, 21 % consacrent une heure ou plus à leurs déplacements. E. Korsu s'appuie sur les résultats de l'enquête globale sur les transports de 2001-2002, réalisée en Ile-de-France

(2010) et étudie la distance des déplacements domicile-travail, mais aussi les changements résidentiels. Dans la plupart des cas, quand la distance domicile-travail est largement supérieure à la moyenne, les ménages optent pour une stratégie de relocalisation résidentielle, ajustant ainsi cette distance dont le coût reste important. Le coût et la qualité du logement sont donc des facteurs permettant d'expliquer les mobilités. Des exceptions existent néanmoins : dans le cas des grands migrants interrégionaux, censés disposer de davantage de liberté dans leurs choix de localisation résidentielle ainsi que dans leur choix du lieu de travail, la grande distance domicile-travail peut être choisie pour plusieurs raisons, soit en raison d'un attachement à une ville d'origine, ou parce que ces individus, appartenant souvent aux classes supérieures ont aussi des exigences plus élevées en termes de qualité de vie ou encore de niveau des établissements scolaires à proximité de leur domicile.

Le débat sur la forme de la ville et les mobilités qui s'y déroulent est donc un large débat que nous n'avons fait qu'effleurer. Il n'en reste pas moins qu'il existe une grande diversité des formes de mobilité, dont certaines sont favorisées par la forme de l'espace urbain (paysage, bâti) mais aussi par les performances du réseau existant. Ces formes de mobilité sont devenues très hétérogènes avec la diversification des motifs de déplacements et des chaînes de déplacement, de plus en plus éloignées du simple déplacement domicile-travail.

II.2. Les sources de données classiques sur la mobilité individuelle

Aujourd'hui, il est encore très difficile d'avoir accès à des données individuelles ou du moins à des données collectées à un niveau fin sur tout ou partie du territoire, données qui permettraient de suivre les évolutions des mobilités individuelles et leur diversification. Les principales sources de données sur la mobilité sont des données d'enquête dont la méthodologie a été fixée dans les années 60 et avait pour objectif principal d'organiser les transports (CERTU, 2008). Elles étaient alors particulièrement bien adaptées à cette problématique, fournissant dans la plupart des cas une vision statique des mobilités des membres du ménage à un moment donné. Malgré les recherches montrant l'évolution des formes de mobilité, les méthodes de collecte des données n'ont pas fondamentalement évolué.

II.2.1. Des grandes enquêtes issues des années 60

Les principales sources de données autour de la mobilité sont les suivantes :

- *les fichiers MIRABELLE (Méthode Informatisée de Recherche et d'Analyse des Bassins par l'Etude des Liaisons Logement Emploi) issus du recensement de la population*

Les fichiers MIRABELLE comprenant les déplacements domicile-travail entre les communes

françaises sont construits depuis 1968 à partir du recensement de la population (Terrier, 1998). Ce dernier comporte, depuis 1962, une question sur le lieu de travail des actifs. Cette information de mobilité est donc collectée à l'échelle du pays tout entier, à la granularité spatiale de la commune de résidence ou d'emploi et est actualisée à chaque recensement. Elle sert principalement à calculer les relations existantes entre les communes, relations fortement marquées par l'emprise de certaines communes sources d'emploi sur des communes davantage résidentielles. La vision de la mobilité fournie par les fichiers MIRABELLE est une vision très restrictive, centrée autour de ces déplacements domicile-travail.

- *L'enquête nationale sur les déplacements et les transports*

Depuis les années 60, ont lieu des enquêtes nationales sur les transports et les déplacements. Ces enquêtes sont renouvelées environ tous les 10 à 15 ans. Elles visent à fournir des informations sur les différents niveaux de la mobilité : mobilité régulière, mobilité locale, mobilité à longue distance, mais aussi sur les choix modaux, les équipements dont disposent les ménages et leurs caractéristiques.

Une enquête est réalisée en plusieurs vagues afin de redresser les effets de la saisonnalité sur les mobilités. Elle utilise un échantillonnage de la population, qui à titre d'exemple, recouvrait pour la dernière enquête (2007-2008) 20 000 ménages soit 50 000 individus. Si lors du premier passage des enquêteurs, les ménages répondent en face à face à un ensemble de questions concernant les caractéristiques des ménages et des individus les composant, lors du deuxième passage, un seul individu est concerné. Entre ces deux passages, un carnet véhicule est remis aux ménages qui doivent y décrire tous les déplacements effectués avec un de leurs véhicules entre la première visite de l'enquêteur et la deuxième visite. Lors de la deuxième visite, l'individu choisi est interrogé sur ses déplacements en semaine et en week-end et ses déplacements à longue distance effectués lors des 3 mois précédant la visite.

Dans le cadre du projet PREDIT²¹ « Analyse et enrichissement des traces GPS de l'Enquête Nationale sur les Transports et les Déplacements 2007-2008 », lors de la dernière enquête, un certain nombre de ménages ont été équipés de capteurs GPS et d'un carnet de bord afin de vérifier et valider les résultats obtenus à la suite de l'entretien. L'introduction de nouveaux outils de mesure, des outils automatisés, vise à faire évoluer les méthodes de mesure des mobilités. Des capteurs comme les GPS²² ne dépendant pas de la bonne volonté ou de la mémoire, et permettent de s'intéresser avec davantage de précision au mouvement. Le couplage entre l'utilisation de GPS et de carnets de bords permet d'allier précision et qualification des mobilités. Mais l'utilisation du GPS nécessite un coût important et de résoudre d'autres problèmes méthodologiques, ce qui explique que ce type de collecte de données ne soit pas encore généralisé.

21 Programme de recherche et d'innovation dans les transports terrestres

22 Global Positioning System

- *Les enquêtes ménages et déplacements*

Ces enquêtes ont été mises en place par les ingénieurs du SETRA²³ dans les années 60 pour alimenter leurs modèles de trafic. Les enquêtes ménages déplacements ont depuis fait l'objet de mises au point méthodologiques et d'une standardisation qui permettent de les harmoniser pour permettre la comparaison (CERTU, 2008). Elles ont la spécificité de s'intéresser à tous les déplacements, quel que soit le mode de transport utilisé et constituent donc une source de données indispensable pour comprendre les modes de vie et planifier les transports dans une agglomération. Ce type d'enquête a été mis en place dans près de quarante agglomérations. Les ménages sont d'abord tirés au sort (45 000 logements) et un enquêteur se rend ensuite auprès des ménages qui ont accepté l'entretien pour les interroger sur leurs déplacements de la veille. Tous les membres du foyer sont interrogés le même jour sur l'ensemble de leurs déplacements : mode de transport utilisé, destination, heure, motif, durée.

Parmi les critiques que l'on peut faire aux enquêtes ménages déplacements et qui s'appliquent à l'EGT :

« - les lacunes sur les déplacements très courts qui sont réputés pour n'être pas toujours déclarés,
- les lacunes sur les itinéraires,
- la définition de distance qui est une distance euclidienne et non une distance réseau même s'il est possible techniquement d'améliorer la qualité de cette donnée,
- les imprécisions sur les durées,
- la limitation à un seul jour d'enquête (la veille de l'entretien),
- la difficulté pour l'enquêteur de franchir la barrière des digicodes dans l'habitat collectif, même si les biais possibles individuel-collectif sont contrôlés au cours de l'enquête terrain,
- la mise à disposition trop différée (il a fallu environ 18 mois entre la fin de l'enquête et la mise à disposition des fichiers finaux pour l'EGT 2001-2002 à cause des travaux de contrôles d'intégrité et de redressements),
- et le coût, de six à sept millions d'euros pour la dernière EGT, « l'EGT 2010 » en Île-de-France pour 18 000 ménages (qui s'est déroulée pour la première fois sur deux ans, de 2009 à 2011), dû en grande partie à l'intervention humaine.
- Ce coût élevé a pour conséquence une fréquence de réalisation faible (une enquête tous les neuf ans en moyenne). C'est une limite majeure de l'EGT traditionnelle, alors que le besoin pour les études serait d'une EGT tous les 3 à 4 ans. »

Encadré 2.1 : Les critiques faites à l'EGT. Source : (Rapport : Faisabilité d'une enquête globale Transports (EGT) intégrale par association d'un GPS, d'un SIG et d'un système expert en Île-de-France, mars 2012)

En Ile-de-France, l'enquête ménages déplacements porte un nom particulier, il s'agit de l'enquête globale transports (EGT), et la dernière a été réalisée de 2009 à 2011. Elle couvrait 1300 communes sur les 1301 d'Ile-de-France, pour 18 000 ménages, soit 40 000 personnes, décrivant en tout 150 000 déplacements. Ces enquêtes par entretien nécessitent des moyens humains considérables et la dernière EGT a ainsi recruté 240 enquêteurs qui se sont rendus dans les foyers franciliens. Il existe aussi des enquêtes ménages déplacements dans les villes moyennes réalisées majoritairement par téléphone et recensant tous les déplacements de la veille.

Ces enquêtes sont fortement critiquées pour leur méthodologie (Encadré 2.1), et parce qu'elles ne permettent pas de comprendre les évolutions récentes des mobilités. Des tentatives

23 Service d'Etudes sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements

sont mises en place pour pallier à ces défauts : dans le cas de l'EGT 2010, une attention toute particulière a été prêtée aux déplacements courts, souvent oubliés lors de l'entretien.

II .2.2. Des sources pour analyser les évolutions de la mobilité ?

II.2.2.1. Saisir les évolutions grâce aux données d'enquêtes

- Temporalité des enquêtes sur la mobilité

Les enquêtes ménages déplacements sont parmi les enquêtes les plus utilisées pour comprendre les mobilités individuelles au sein d'un espace urbain. Elles permettent de connaître de nombreux aspects de la mobilité dans le temps.

Enquête	Recensement	ENTD ²⁴	EMD ²⁵ Exemple de Lyon	EGT ²⁶
Institution	INSEE ²⁷ (Ministère de l'économie et des finances)	MEEDD M ²⁸ , INSEE, INRETS ²⁹	Sytral ³⁰ CETE ³¹ de Lyon Agence d'urbanisme pour le développement de l'agglomération lyonnaise	Jusqu'en 2001, DREIF ³² et INSEE en 2010, STIF ³³ et DREIF
Années	1962 1968 1975 1982 1990 1999	1966-67 1973-74 1981-82 1993-94 2007-08	1965 1976 1986 1995 2006	1976 1983 1991 2001 2010
Délai de mise à jour	6 à 9 ans annuel depuis 2004	10 à 15 ans	Environ 10 ans	7 à dix ans

Tableau 2.2 : Historique des dernières enquêtes sur la mobilité quotidienne des individus en France.

Ces comparaisons dans le temps sont possibles grâce aux efforts menés pour, à la fois utiliser des définitions stables des objets considérés (par exemple une définition stable de l'objet urbain), mais aussi grâce aux efforts faits pour harmoniser les protocoles d'enquête, comme c'est le cas pour l'enquête ménage déplacements avec les standards du CERTU³⁴. Pour pouvoir comparer les résultats des différentes EGT (de 1976 à 2010), ce sont les limites

24 Enquête Nationale Transports et Déplacements, le nom des enquêtes a pu évoluer, l'enquête de 1993-94 s'appelait Enquête Transports et Communications

25 Enquête Ménages Déplacements

26 Enquête Globale Transports

27 Institut Nationale de la Statistique et des Études Économiques

28 Ministère de l'Écologie, du Développement durable, et de l'Énergie, en somme le ministère chargé des transports

29 Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité, depuis 2011 remplacé par l'IFFSTAR (Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux)

30 Syndicat mixte des Transports pour le Rhône et l'Agglomération lyonnaise

31 Centre d'Études Techniques de Lyon, dépend du ministère chargé des transports

32 Direction Régionale et de l'Équipement de l'Ile-de-France

33 Syndicat des Transports d'Île de France

34 Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques

II.2. Les sources de données classiques sur la mobilité individuelle

administratives « classiques » entre Paris, les communes de petite couronne et les communes de grande couronne, qui sont retenues. Depuis 2001, un découpage morphologique a été utilisé, permettant ainsi de comparer les résultats des enquêtes de 2001 et 2010 à l'aide de la morphologie du territoire. Ce découpage morphologique comprend 5 types de territoires : Paris (105 km², 2 millions d'habitants, 1.7 millions d'emplois), le cœur d'agglomération, c'est-à-dire les communes contiguës à Paris, fortement urbanisées et comprenant une forte densité d'emplois et de résidents, l'agglomération centrale (la définition de l'INSEE en 1999), les autres agglomérations et l'espace rural.

- Les évolutions mesurées en Ile-de-France

En 2010, les premiers résultats montrent de véritables évolutions : le nombre de déplacements a augmenté, passant à une moyenne de 3,87 déplacements par personne et par jour (Courel, 2012). Conformément à la tendance observée lors de l'enquête précédente, les déplacements en dehors de Paris sont majoritaires et l'utilisation des modes de transport collectif ou doux a augmenté au détriment de la voiture. Les modalités de la mobilité varient cependant beaucoup en fonction du lieu de résidence : ce sont principalement les parisiens qui utilisent les modes de transport collectif et la marche à pied. Dans les espaces éloignés du centre, c'est toujours la voiture qui prédomine, confortant l'hypothèse de C. Genre-Grandpierre selon laquelle le mode de transport automobile est dominant car il est le plus efficace sur les longues distances (2007). La forme urbaine et l'organisation des réseaux de transport expliquent cette différence d'utilisation des modes de transport : en périphérie, les distances sont plus longues à parcourir et nécessitent souvent le choix de l'automobile. Au contraire, dans les zones denses, les distances sont réduites et l'aménagement des voiries rend la marche ou l'utilisation des transports collectifs davantage attractifs. De manière générale, la portée des déplacements est très faible : plus de la moitié des déplacements sont effectués au sein de la même commune, les déplacements moyens font 4.4 km et les deux tiers des déplacements font moins de 3 km. Les mobilités individuelles sont donc paradoxalement des mobilités utilisant la voiture pour des longues distances mais aussi des mobilités de proximité qui tendent à utiliser d'autres modes de transport et à se faire sur de très courtes distances.

II.2.2.2. Retrouver une approche désagrégée

De nombreuses évolutions expliquent la nécessité de disposer de sources d'information à un niveau désagrégé. Les motivations des déplacements connaissent aussi une diversification importante, la moitié des déplacements ayant dorénavant un motif d'ordre personnel (loisirs, achats...). Les chaînes de déplacement sont beaucoup plus complexes, ne comportant pas qu'une activité, mais plusieurs. L'individuation des modes de vie et la flexibilité permise par l'utilisation de nombreux outils de gestion du quotidien expliquent cette complexification des mobilités.

Les enquêtes portant sur les mobilités ne permettent pas toujours de répondre à ces questions intéressantes pour les chercheurs ou les aménageurs : les données dont disposent les chercheurs sont des données agrégées dont les méthodes de collecte ont été élaborées dans les années 1960 pour répondre à des questions de mesure du trafic.

Pour cette raison, de nombreuses recherches s'attachent à reconstruire ou simuler des données de mobilité individuelles pour restituer l'hétérogénéité des pratiques en s'appuyant sur des données existantes issues des enquêtes.

- Les enquêtes classiques ne permettent pas de saisir l'hétérogénéité des situations

La mesure de la mobilité n'est possible qu'à partir de flux agrégés et peu d'attention est accordée aux itinéraires précis, itinéraires dont le choix est essentiel quand on s'intéresse aux mobilités douces comme la marche à pied. L'échantillonnage et l'utilisation d'un carroyage spatial pour mener l'enquête limitent fortement l'observation et l'analyse de la diversité des formes de mobilité.

En France, la mobilité est mesurée ou restituée à l'aide des découpages administratifs classiques, découpages qui ne reflètent parfois pas ou peu la réalité du territoire vécu mais surtout, qui conditionnent la mobilité mesurée. Sa mesure est fortement dépendante de l'échelle géographique à laquelle les données sont collectées (Courgeau, 1973) : la taille des mailles joue dans la mesure des migrations, et par extension des mobilités, les déplacements ayant lieu à l'intérieur de la maille ne sont pas pris en compte, même s'ils sont importants et représentent aussi un mouvement de population. En 1978, D. Courgeau note qu'aux Etats Unis 20 % de la population change de résidence tous les ans, mais si l'on prend en compte la migration inter-Etats, celle-ci ne concerne plus que 3 % de la population. La sensibilité des données collectées au maillage territorial est d'autant plus essentielle que de nombreuses mobilités sont des mobilités de courte distance. Ces mobilités de courte distance sont souvent mal prises en compte en raison du carroyage utilisé.

Dans le cas de l'Ile-de-France, l'Enquête Globale Transports est réalisée sur la base d'un échantillon de 20 000 foyers³⁵. Les déplacements sont mesurés au sein d'un carroyage : la région est découpée en carrés de 300 mètres de côté en zone dense et de 900 mètres de côté en zone rurale. Il en ressort que, vu le maillage utilisé pour sélectionner les ménages et vu le faible nombre de ménages, la restitution des résultats ne peut se faire qu'à une échelle très large : à l'échelle des départements, voire à l'échelle du zonage entre Paris/petite couronne et grande couronne. Pourtant, il est probable qu'il existe des déplacements intéressants à l'intérieur de ces maillages, déplacements qui ne peuvent pas être étudiés en tant que tels car la quantité de données collectées est trop insuffisante dès qu'on cherche une précision par exemple au niveau communal.

35 Présentation de l'EGT : <http://pdu.stif.info/L-Enquete-Globale-Transport.html>

- Pour interroger les nouvelles formes de mobilité, recréer de la diversité au sein des résultats agrégés

A partir des données issues des enquêtes ménages déplacements de Grenoble, I. André Poyaud, S. Chardonnel, L. Charleux et alii (2008) élaborent une typologie de « journées-individus » (les auteurs insistent sur le fait que les individus considérés sont des journées-individus et non pas des personnes) en s'appuyant déplacements et des caractéristiques des ménages. Cette typologie est constituée de huit profils. Parmi ces huit profils, cinq d'entre eux sont marqués par les déplacements domicile-travail ou domicile-lieu de formation.

Les journées des habitants de l'agglomération de Grenoble peuvent être :

- des journées « auto-boulot-dodo » avec peu de déplacements hors du binôme domicile-travail,
- des journées de « turbo nomades » qui, en plus des déplacements domicile-travail ont aussi de nombreux autres déplacements,
- des journées où les déplacements sont destinés à l'université ou à l'école, avec pour une catégorie de scolaires, d'autres activités nécessitant une mobilité,
- des journées « taxi », concernant des personnes qui ne travaillent pas, mais effectuent de nombreux déplacements,
- des journées sans mobilité pour ceux qui sont sans emploi et n'ont accès à aucune forme de mobilité,
- la dernière catégorie des journées-types représente cette population spécifique que forment les retraités, qui se déplacent principalement pour des raisons de sociabilité au fil de la journée.

Les auteurs émettent des réserves sur l'interprétation des journées-types. Ces profils étant réalisés sur une journée, il est fortement probable que certains individus réalisent l'une des journées types un jour et une autre le lendemain. En effet, les enquêtes ménages déplacements donnent une vue statique des mobilités individuelles et ne permettent pas de les envisager dans une dimension longitudinale, au fil des jours, voire des saisons. Les mobilités individuelles sont pourtant marquées par des pratiques de plus en plus flexibles qui ne sont pas identiques d'un jour à l'autre. Dans ce contexte particulier, une attente réelle existe vis-à-vis d'une information sur la mobilité permettant une approche plus longitudinale.

- La simulation des mobilités

Faute de disposer de toutes les informations nécessaires à l'analyse des mobilités, certains auteurs reconstruisent les informations manquantes à partir des données observées. Les

différents projets TRANSIMS (*Transportation Analysis and Simulation System*), MIRO (Modélisation intra-urbaine des rythmes quotidiens) et Mobisim (simulation des mobilités) sont des exemples de ces projets de simulation.

Transims³⁶ est un modèle de simulation à vocation prédictive qui s'appuie sur les programmes d'activité des individus. Ce modèle de micro-simulation s'appuie sur un automate cellulaire pour simuler les déplacements dans la ville de Portland (Smith et alii, 1995). Une population synthétique est recrée à partir des caractéristiques issues du recensement et répartie spatialement dans la ville. A partir des données d'enquêtes sur les déplacements des ménages, les individus se voient attribuer des emplois du temps et des activités. L'étape suivante consiste en l'attribution d'un itinéraire en fonction du mode de transport choisi. Un automate cellulaire combine ensuite tous les déplacements individuels. L'attribution d'itinéraire et l'automate cellulaire combinant tous les déplacements sont réajustés jusqu'à ce qu'un état d'équilibre soit atteint.

Le projet MIRO (Banos et alii, 2010) s'inspire des deux premières étapes du projet Transims. Comportant 4 grandes étapes, le projet MIRO comprend d'abord la création d'une ville virtuelle à partir de données géographiques³⁷ sur la ville de Dijon et dans un deuxième temps la création d'une population synthétique à partir de données existantes comme les données de l'enquête ménages déplacements de Dijon. Une fois cette population répartie dans la ville virtuelle, chaque individu se voit attribuer un emploi du temps. Et enfin, le modèle simule les déplacements de chaque individu au sein de l'espace urbain en fonction de son emploi du temps. L'utilisation d'une modélisation multi-agents permet « de décrire les individus avec leurs habitudes, leurs contraintes et leurs modes de communication, en interaction les uns avec les autres mais également avec leur environnement urbain. » (Banos et alii, 2010, p.86) et ce, dans le but d'explorer l'interaction entre ces mobilités individuelles et les différentes configurations de l'espace urbain.

Enfin, le modèle Mobisim³⁸, génère lui aussi une population synthétique d'agents en s'appuyant sur les données du recensement. Ces agents se voient attribuer des emplois du temps à partir desquels leurs mobilités sont simulées en interaction avec leur environnement. Le modèle tient compte de l'évolution démographique des populations et s'inscrit dans le long terme avec la simulation des mobilités résidentielles et des changements conséquents au niveau du parc de logements.

36 <http://code.google.com/p/transims/>

37 Des données concernant les surfaces bâties, le réseau viaire etc...

38 <http://www.mobisim.org/fr-home.html>

II.3. Saisir les mobilités individuelles dans l'organisation de l'espace francilien

L'utilisation de nouvelles données pour comprendre les mobilités s'avère donc nécessaire dans la mesure où les données actuelles ne sont pas adaptées aux évolutions de la mobilité. Dans le contexte de la région Ile-de-France, sur laquelle se concentrera notre travail, l'acquisition de nouvelles données est un atout pour ouvrir de nouvelles perspectives de compréhension du fonctionnement de cette région urbaine.

L'Ile-de-France est un terrain d'études remarquable dont les mobilités individuelles diffèrent de celles du reste du pays. Les Franciliens se déplaçaient moins que le reste de la France en 2001 mais pendant des durées plus longues : en moyenne, en 2001 un Francilien effectuait 3.4 déplacements par jour contre 3.9 pour le reste de la France, ses trajets duraient 82 minutes en moyenne contre 64 pour le reste des Français (Caenen, Couderc, Courel et alii, 2010). Et encore, ces chiffres ne sont que des moyennes, en Ile-de-France, nombreux sont ceux qui passent plus de deux heures par jour dans les transports, notamment parmi ceux qui ne résident pas dans Paris centre.

Dans cette région capitale, l'organisation et la gestion des mobilités revêtent une importance essentielle : les flux de voitures aux heures de pointes génèrent des externalités négatives : encombrement des routes, pollution, nuisances sonores... La plupart des infrastructures de transport sont polarisées par Paris, alors que l'évolution des mobilités montre un accroissement des circulations périphériques.

Le fonctionnement de cette région s'organise donc autour de plusieurs niveaux. Disposer de sources d'information à ces différents niveaux permettrait de comprendre finement les processus en jeu à l'échelle de la région mais aussi à l'échelle des attracteurs locaux.

II.3.1. Les échelles de fonctionnement de la région Ile-de-France

L'organisation de l'espace francilien est une organisation multiscalaire, car dans cette région coexistent à la fois la principale agglomération française, une agglomération historiquement centralisée, mais aussi de nombreuses autres formes d'organisation du territoire. La région Ile-de-France comprenait en 2007 11.6 millions d'habitants, soit 18.5% de la population métropolitaine (INSEE). C'est une région à la croissance démographique forte, croissance principalement due à son accroissement naturel. Elle a une superficie de 12 011 km², avec une densité moyenne de 976 habitants au km². L'agglomération parisienne couvre une grande partie de la région (environ 20%) et regroupe aussi la majorité de sa population.

- Une région au rayonnement important

La région parisienne est en outre, une région métropolitaine au rayonnement national, mais aussi européen et international: elle regroupe de nombreux pouvoirs, politiques, économiques, culturels. Concentrant à la fois le pouvoir exécutif, mais aussi le pouvoir législatif, la région Ile-de-France est depuis de nombreux siècles le siège de la capitale politique française. C'est un lieu de concentration des hommes et des entreprises, non seulement en raison de cet héritage historique, mais aussi en raison de sa situation d'interface au sein du territoire français et au sein de l'Europe de l'ouest. Bien qu'étant l'une des plus petites régions françaises, la région Ile-de-France, est une des régions les plus peuplées et surtout elle contribue énormément à la richesse nationale avec 28.7% du PIB métropolitain. En effet, la région Ile-de-France est le plus grand bassin d'emploi français, et aussi une des régions les plus attractives au niveau européen pour les investissements étrangers et la localisation des sièges sociaux.

Qui plus est, la présence au sein de la région, d'axes de transport performants et de plateformes aéroportuaires en fait une région d'interface entre une Europe du Nord et une Europe du Sud. A l'échelle mondiale, Paris bénéficie aussi d'une situation de centralité d'intermédiation (point de passage « obligé » dans un grand nombre d'itinéraires) dans les réseaux de flux aériens (Guimera, Mossa, Turttschi et alii, 2005).

- Des frontières qui dépassent les limites régionales

L'agglomération parisienne étend son emprise sur toute la région Ile-de-France, mais aussi sur les autres régions. Les populations des départements des régions limitrophes sont fortement attirées par la métropole parisienne, à tel point que pour certains auteurs, l'emprise de l'agglomération parisienne s'étend jusqu'au Havre et structure l'ensemble du grand Bassin parisien (Gilli, 2005). F. Gilli illustre cette aire d'influence en cartographiant au niveau des zones d'emploi, la répartition des actifs résidents dont l'emploi se trouve à Paris. Cette répartition se fait de manière concentrique autour de Paris centre et elle déborde déjà sur les départements périphériques (figures 2.1 et 2.2).

II.3. Saisir les mobilités individuelles dans l'organisation de l'espace francilien

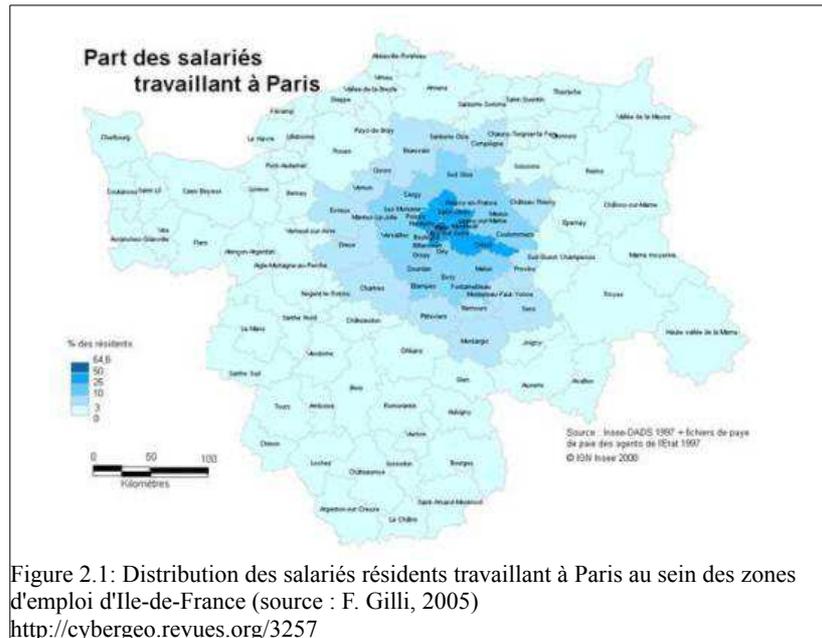


Figure 2.1: Distribution des salariés résidents travaillant à Paris au sein des zones d'emploi d'Ile-de-France (source : F. Gilli, 2005)
<http://cybergeog.revues.org/3257>

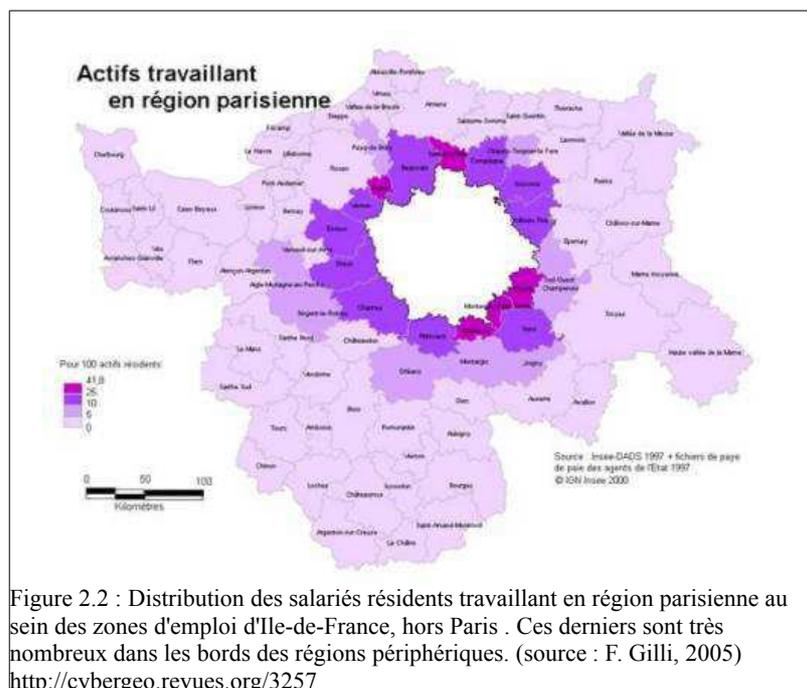


Figure 2.2 : Distribution des salariés résidents travaillant en région parisienne au sein des zones d'emploi d'Ile-de-France, hors Paris . Ces derniers sont très nombreux dans les bords des régions périphériques. (source : F. Gilli, 2005)
<http://cybergeog.revues.org/3257>

Quant aux actifs travaillant en région parisienne, ils sont aussi très nombreux parmi ceux des zones d'emploi des régions périphériques. Les navetteurs des franges limitrophes, « la troisième couronne » comprenant l'Aisne, l'Oise, l'Aube, la Marne, l'Eure, l'Eure-et-Loir, le Loiret et l'Yonne sont estimés à 187 000 en 2006 (Beaufils et de Biasi, 2010). Il existe donc une quantité importante de flux de personnes se déplaçant des régions limitrophes à l'Ile-de-France, redéfinissant ainsi les limites de la région fonctionnelle.

- Une organisation administrative qui essaie de s'adapter à cette situation fonctionnelle

Néanmoins, si la région et ses bordures semblent fonctionner au rythme de l'agglomération parisienne, il n'en est pas de même pour les structures administratives. La région Ile-de-France comprend encore aujourd'hui un emboîtement d'échelons administratifs : communes, départements auxquels s'ajoutent les 114 structures intercommunales. Initié par l'Etat en 2010, le projet du Grand Paris vise à améliorer, non seulement des infrastructures de transport qui permettraient de rendre la métropole parisienne compétitive au plan mondial, mais aussi une institution permettant la prise de décision à l'échelle de l'agglomération. Cette structure intermédiaire existe déjà en partie dans le secteur des transports grâce au STIF, Syndicat des transports d'Ile-de-France, établissement public chargé de l'organisation, de la coordination et du financement des transports en Ile-de-France. De fait, le STIF est un organisme résultant d'une longue évolution d'institutions chargées de gérer les transports collectifs en région parisienne, dont la première, le Comité des transports parisiens, date de 1938. Le STIF comprend des représentants des collectivités territoriales d'Ile-de-France et il est présidé par le président du conseil régional d'Ile-de-France, c'est donc déjà une forme d'organisation inter-échelons permettant de gérer les transports aux différentes échelles de la région. En parallèle, depuis 2009, existe un syndicat mixte d'études, Paris Métropole, permettant à toute collectivité de participer à des travaux d'échanges et d'études sur le territoire francilien. Le projet du Grand Paris s'appuie en outre sur les études menées par ce syndicat Paris Métropole. Parmi les infrastructures de transport prévues : un nouveau métro automatique faisant le tour de Paris afin de pallier au manque de circulation entre les communes de périphérie et une augmentation des vitesses sur le métro.

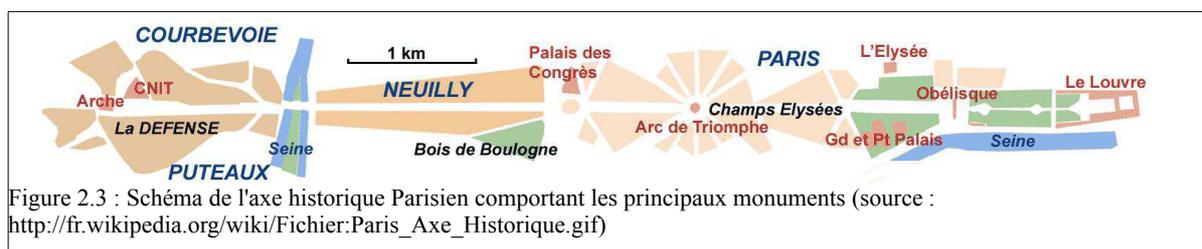
II.3.2. Les centralités métropolitaines

Au sein de cette région fortement intégrée, les mobilités sont polarisées par des attracteurs urbains de différentes sortes. Parmi ces attracteurs, on trouve les zones d'emploi, mais aussi des attracteurs plus spécifiques comme les lieux de commerces ou encore les lieux de loisirs, les sites touristiques... Ces attracteurs constituent des centralités métropolitaines, dans la mesure où ils polarisent l'espace. La centralité relève en effet de « la capacité de polarisation de l'espace et d'attractivité d'un lieu ou d'une aire qui concentre acteurs, fonctions et objets de société » (Dematteis, 2003).

Leur localisation ne correspond pourtant pas systématiquement au centre de Paris et l'étude des mobilités urbaines permet justement de redéfinir ces différents attracteurs et l'organisation de l'espace.

II.3. Saisir les mobilités individuelles dans l'organisation de l'espace francilien

- Une concentration des centralités politiques, culturelles et économiques dans le cœur historique de Paris



Depuis le Moyen Age, Paris est un centre politique, religieux et économique. Fait remarquable, l'ancienne voie royale menant du centre de Paris à la forêt de Saint Germain (Figure 2.3) a constitué un axe de déplacement de ces centralités : au départ, concentrées autour de l'Ile de la Cité, elles se sont déplacées vers l'ouest, avec l'installation du palais royal au Louvre, puis au XIX^{ème} siècle l'aménagement des Champs Elysées et au XX^{ème} l'aménagement du centre d'affaire de la Défense. L'axe historique partant de la rue de Rivoli (voire de la Bastille) à l'Arche de la Défense concentre alors un ensemble de centralités politiques (Elysée), économiques (La Défense), religieuses (Ile de la Cité) et culturelles (de par les nombreux sites historiques et musées). Cet axe historique illustre aussi la succession des domaines créateurs d'attractivité : pouvoir religieux, pouvoir royal, pouvoir impérial et étatique, pouvoir économique (Marchand, 1993).

Mais cette concentration des attracteurs urbains dans le centre de Paris et autour de cet axe historique est concurrencée par d'autres attracteurs davantage disséminés au sein de l'agglomération.

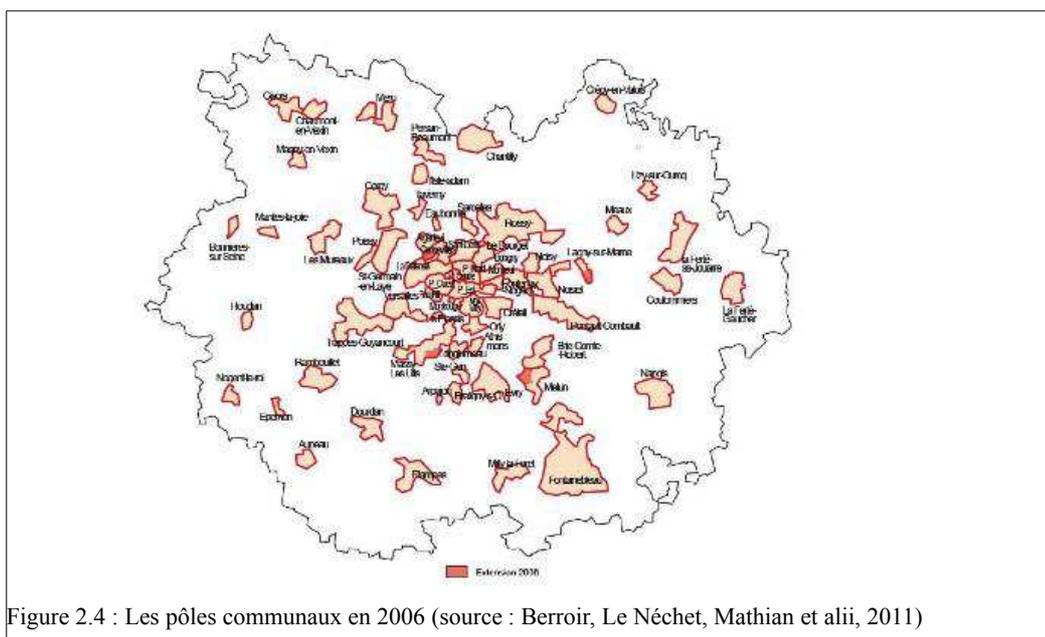
- les pôles d'emploi, révélateurs du polycentrisme francilien

Les pôles d'emploi, sont un exemple des attracteurs du territoire répartis à l'échelle de l'agglomération. S. Berroir, H. Mathian, T. Saint-Julien et alii font l'hypothèse que « *les liens entre les structures urbaines et les pratiques de mobilité contribuent à la formation de territorialités métropolitaines de plus en plus polycentriques, tant du point de vue morphologique que fonctionnel* » (Berroir et alii, 2008, p.31). L'organisation de l'agglomération parisienne a longtemps correspondu au modèle classique opposant un centre dynamique à une périphérie dominée avec un centre parisien qui concentrait tous les emplois et polarisait les flux de transports. La densité de l'emploi dans Paris centre reste encore très élevée, 155 emplois/ha contre 2,5 emplois/ha dans le reste de l'aire urbaine, confortant cette image. Pourtant, les mobilités et en particulier la diminution des déplacements ayant pour origine ou destination Paris centre permettent de penser que ce modèle ne s'applique plus à cette région urbaine. Berroir et alii (2007) s'interrogent ainsi sur le lien entre le desserrement de l'emploi et des activités en Ile-de-France et l'organisation polycentrique de la région, qui

se définit de manière morphologique et fonctionnelle :

« La remise en cause du schéma centre/périphérie est alors associée à des systèmes d'interaction définissant des réseaux d'échanges moins hiérarchisés, plus complexes et multidirectionnels. » (Berroir et alii, p.15, 2007).

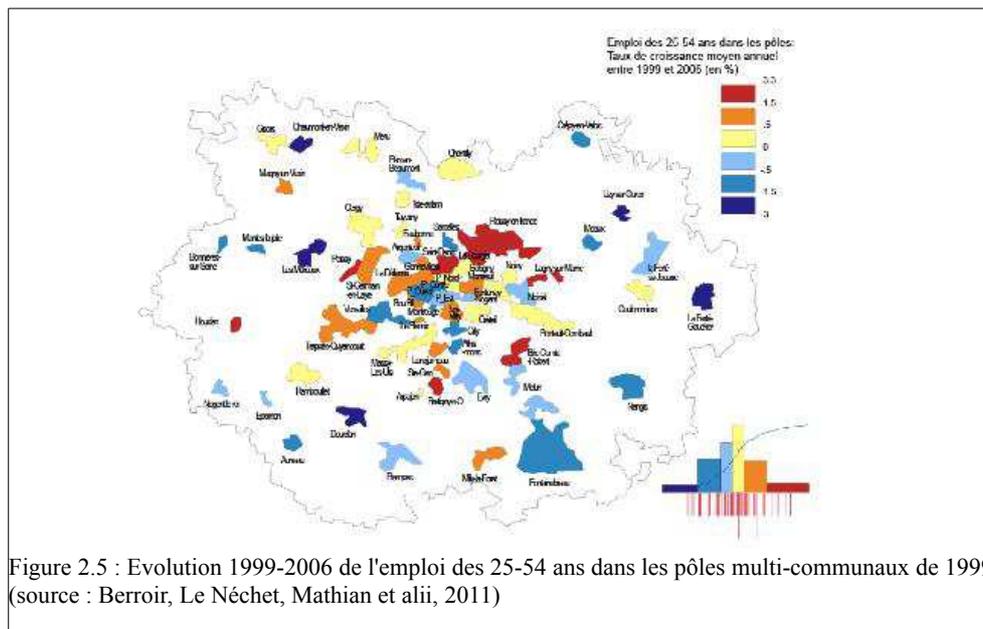
Il ne suffit pas d'avoir plusieurs pôles secondaires pour être dans un système polycentrique, encore faut-il pour que le fonctionnement soit réellement polycentrique, que les pôles secondaires et leurs périphéries aient des relations entre eux. La nature de cette relation entre les lieux permet de caractériser le polycentrisme d'une métropole. S. Berroir et alii (2007) proposent d'identifier les noyaux des pôles secondaires à partir d'un ensemble de critères s'appuyant souvent sur la concentration de l'emploi et la capacité des noyaux à polariser l'espace environnant. 129 communes noyaux sont ainsi identifiées hors de Paris. Les communes-noyaux sont très diversifiées, il existe par exemple des communes qui concentrent de nombreux emplois mais qui ont peu d'influence sur leur environnement proche (souvent en proche banlieue parisienne), et d'autres communes qui ont moins d'emploi mais polarisent davantage l'espace environnant (généralement des communes de banlieue éloignée). Il existe donc une réelle diversité des attracteurs de l'espace, dont certains qui peuvent apparaître moindres au regard de l'agglomération mais qui jouent un rôle important dans la structuration des marges (Berroir et alii, 2008).



Ces noyaux sont souvent des éléments d'un ensemble fonctionnel plus large et les auteurs proposent donc de construire des pôles multi-communaux, soit des pôles régionaux secondaires. Trois critères permettent de construire ces pôles multi-communaux, la continuité spatiale, la similitude des aires de recrutement des communes composant ce pôle et la

II.3. Saisir les mobilités individuelles dans l'organisation de l'espace francilien

symétrie des échanges. En effet, les pôles sont constitués de communes qui ont entre elles des relations fortes, soit des aires d'attraction qui se recouvrent, soit des communes noyaux proches qui entretiennent entre elles des relations intenses et symétriques. La cohérence des ensembles géographiques identifiés est vérifiée et les communes qui ne sont pas des noyaux, mais qui entretiennent des relations intenses avec le pôle multi-communal sont aussi intégrées. A l'aide de ces critères, S. Berroir et alii déterminent 67 pôles qui contribuent à structurer l'espace francilien par l'emploi (Figure 2.4). Ces 67 pôles sont répartis dans toute la région ce qui montre l'importance des pôles structurants en périphérie.



L'analyse des trajectoires de ces pôles de 1975 à 2000 révèle l'accroissement du poids des pôles localisés en grande périphérie (Figure 2.5). Par exemple, les pôles de Saint Denis, du Bourget, ou de Saint Germain en Laye connaissent un taux de croissance de l'emploi très important, contrairement au centre de Paris qui connaît un taux très faible, voire négatif. Cela conforte l'hypothèse d'un renforcement polycentrique : la hiérarchie entre les pôles centraux et périphériques diminue³⁹.

- Les centralités commerciales et touristiques, révélatrices d'autres pratiques du territoire

Les commerces constituent une autre forme de polarisation de l'espace dessinée par des mobilités spécifiques. Étudiés depuis longtemps par le géomarketing dans un but de localisation optimale, la géographie des commerces et leur lien avec les mobilités induites est au cœur des préoccupations des gestionnaires de l'espace. D'après R.-P. Desse, en 1999, le

39 Notons que les pôles situés en marge de l'agglomération parisienne comme Fontainebleau ne connaissent pas d'accroissement du taux d'emploi, ce qui signifie que seuls certains pôles de banlieue, le plus souvent situés près de Paris, connaissent cet accroissement

commerce est impliqué dans 20% des déplacements de semaine et 25% des déplacements de week-end.

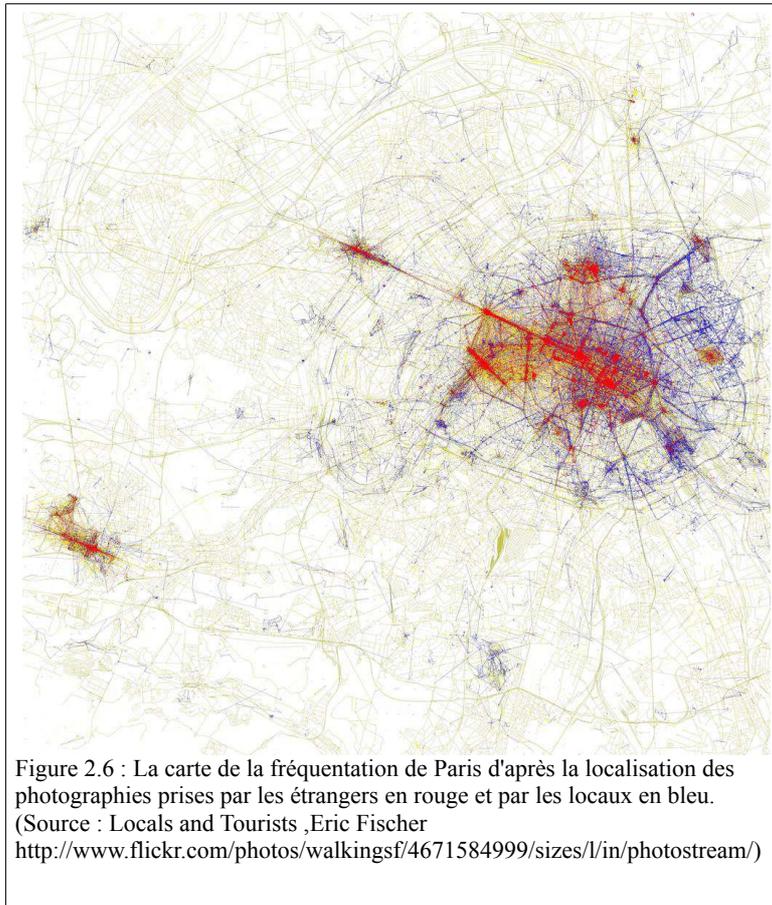
La géographie des commerces montre elle aussi, une évolution vers un schéma d'organisation polycentrique de l'Ile-de-France. Ainsi, M. Delage et A. Fleury (2011) montrent que les centres commerciaux périphériques, localisés au niveau des intersections routières exercent une attractivité croissante et peuvent même concurrencer les commerces centraux sur certains biens. A l'inverse, les commerces centraux comme les grands magasins du centre de Paris, polarisent non seulement le territoire local, mais constituent aussi une offre touristique pour les visiteurs. Les localisations périphériques des commerces s'expliquent aussi bien par le moindre coût de l'immobilier en périphérie, mais aussi par la situation intermédiaire des zones commerciales, localisées le long des axes de transport, soit entre les lieux de résidence et les lieux de travail (Gasnier, 2007). Ces localisations de « transit » permettent de s'insérer facilement dans les chaînes de déplacement des individus.

La géographie des commerces et les mobilités de chalandise relèvent de plusieurs enjeux (Gasnier, 2007) : un enjeu social car l'éloignement des commerces du centre ville pose une vraie question d'accessibilité pour les populations les plus défavorisées, un enjeu environnemental en raison justement de ces localisations axées sur le mode de transport automobile et un enjeu d'aménagement urbain, les espaces commerciaux étant aussi des lieux d'emploi. Conscients des enjeux métropolitains du commerce, l'agence d'urbanisme parisien et l'institut francilien d'urbanisme (APUR, 2012) mènent depuis plusieurs années des recensements de l'offre commerciale afin d'offrir dans un premier temps une cartographie de cette offre à l'échelle de l'agglomération. Mais, la géographie des commerces se construit davantage à partir de la qualification de l'offre (offre banale, biens rares etc...) que de l'analyse des déplacements ayant pour motif la chalandise.

Les données d'enquête classique ne permettent pas encore de saisir ces mobilités particulières. Seules des données issues de sources alternatives permettent de les saisir.

L'attractivité touristique constitue une autre forme de polarisation de l'espace importante. Paris, capitale touristique mondiale comporte en son sein de nombreux quartiers ou sites extrêmement attractifs (plus de 100 musées dans Paris intra-muros) pour les touristes nationaux ou étrangers. En 2011, 15.6 millions de personnes ont fréquenté un hôtel parisien (dont 8 millions d'étrangers), ce qui représente environ 36 millions de nuitées (dont 23 millions de nuitées pour les étrangers). La cathédrale Notre Dame a reçu en 2010 plus de 13 millions de visiteurs. Cette fréquentation touristique donne lieu à de nombreux déplacements au sein de la ville, des déplacements qui révèlent des pratiques concurrentes de l'espace. Mais il existe peu de sources de données, si l'on excepte des données agrégées sur l'arrivée des touristes, sur leurs pratiques réelles de l'espace parisien (ce point sera détaillé dans le chapitre 5, p.150). Seules des études de terrain sur quelques groupes permettent de

comprendre ces pratiques (Simon, 2010 ; Dubucs, 2010).



Des données géolocalisées comme les données de localisation des photographies mises en ligne sur Flick'R permettent néanmoins de représenter ces différentes pratiques de l'espace. Ainsi, en 2009, l'artiste Eric Fischer a créé des cartes de différentes villes mondiales en différenciant les lieux pris en photographie par des visiteurs étrangers des lieux pris en photographie par des locaux (Figure 2.6).

L'ouest parisien et Versailles sont majoritairement pris en photographie par des étrangers alors que l'est est lui pris en photographie par les locaux (Figure 2.6).

- Les centralités éphémères ou la réorganisation continue de l'espace urbain

A l'instar des centralités touristiques, ou des centralités commerciales qui ont une temporalité propre, les centralités urbaines peuvent relever de l'extraordinaire, de l'événementiel. Ainsi, les fêtes comme la nuit blanche à Paris, la fête de la musique ou encore les événements comme l'Armada de Rouen, bouleversent complètement les centralités urbaines et les pratiques de l'espace (Lucchini, 2010 ; Elissalde, Lucchini et Freire-Diaz, 2011). Pour ces centralités éphémères et les populations qu'elles mettent en mouvement, il n'existe pas non

plus de source de données « officielle ». Les données de téléphonie mobile, parce qu'elles sont particulièrement bien adaptées à la situation de l'évènement, permettent de comprendre comment l'organisation de l'espace urbain change pendant ces moments éphémères. B. Elissalde et alii montrent que l'Armada de Rouen bouleverse les potentiels d'attraction habituels des quartiers de la ville de Rouen (2011) : les quais de Seine habituellement peu fréquentés sont sur-investis pendant l'Armada. Qui plus est, la dualité jour/nuit est renversée par la manifestation qui s'anime encore plus le soir alors que le centre historique voit son activité diminuer. Cette ville éphémère permet de créer des proximités sociales qui n'existent pas en temps normal et de changer ainsi, de manière temporaire certes, les représentations et les pratiques de l'espace urbain.

Conclusion du chapitre 2

Les communications mobiles offrent aux chercheurs une formidable source d'investigation sur les mobilités dans la ville. Ces dernières peuvent être saisies à différentes échelles, en fonction des données disponibles mais aussi du point de vue sur l'organisation de l'espace. L'échelle individu-centrée, s'intéresse davantage aux activités des individus et à leurs pratiques de l'espace, tandis que l'échelle de la ville donne une vision plus globale de l'organisation de l'espace, organisation qui interagit fortement avec les mobilités. Mais la mobilité est un phénomène multiscalair dépendant de l'interaction entre ces différents niveaux spatiaux. La somme des mobilités individuelles détermine en effet une organisation territoriale à l'échelle de la ville entière.

La disponibilité des données permettant de travailler sur les mobilités détermine en grande partie les problématiques étudiées. Rarement, les chercheurs disposent de données individuelles ou collectées à une résolution spatiale fine. Les données issues des enquêtes sont des données « statiques » permettant de restituer le plus souvent des trajets types ou des journées types, mais ne permettent pas de rendre compte de l'hétérogénéité des pratiques.

Par ailleurs, il existe un réel besoin d'approfondir la connaissance de cette relation entre organisation de l'espace urbain et mobilités. Sur le long terme, il s'est produit des évolutions de l'organisation de l'espace remettant en cause le schéma classique de l'organisation centre-périphérie : l'emploi se diffuse en périphérie, des pôles d'attraction comme les centres commerciaux ou des pôles touristiques donnent à certains lieux de la périphérie un fort rayonnement régional voire international. Sur le court terme, l'on constate aussi que les centralités urbaines ne sont pas figées : elles se font et se défont en fonction, de la temporalité routinière de l'espace urbain (les pôles d'emploi se vident la nuit au profit des espaces résidentiels), mais aussi de la temporalité de l'évènement qui reconfigure alors l'organisation de l'espace urbain.

De part leur quantité et leur inscription dans l'espace et dans le temps, les données numériques de téléphonie mobile semblent être particulièrement adaptées pour étudier ces évolutions sur le long terme et le court terme et à différentes échelles spatiales.

Chapitre 3: Mobilité individuelle et communication mobile

Parmi les nouvelles données issues des nouvelles technologies de la localisation, les données de téléphonie mobile, qui sont produites par les usages de ces téléphones, laissent, elles aussi, des traces permettant d'identifier les différentes localisations des individus. Depuis une dizaine d'années, les chercheurs et les opérateurs de téléphonie mobile, ayant conscience des potentialités que peuvent offrir ces données pour l'analyse des mobilités urbaines et l'aide à la décision, ont entamé de nombreux travaux de recherche sur les utilisations possibles de ces données.

Contrairement à des données issues d'enquêtes au protocole bien défini, ces données sont récoltées de manière passive. Elles sont d'abord enregistrées de manière automatique par le réseau de téléphonie mobile et ensuite stockées sous d'autres formes pour des raisons de facturation par exemple. Ces données ne nécessitent pas la mise en œuvre d'une infrastructure de collecte coûteuse et nous procurent une information massive sur les localisations des individus. L'avantage indéniable de ce type de données est qu'elles peuvent aider à comprendre les mobilités des individus de manière longitudinale. Toutefois, ces données sont avant tout collectées pour des raisons techniques et elles comportent de ce fait de nombreuses imperfections : incertitudes sur les individus, imprécisions de localisation, incertitudes sur ce qui se passe entre deux traces, lacunes dans les enregistrements, ambiguïtés sur la signification à donner etc... Ces imperfections doivent être décrites et considérées pour prendre en compte à la fois les biais possibles lors de l'utilisation de ce type de données mais aussi pour construire une information géographique pertinente.

Ces données relèvent d'une pratique individuelle spécifique, la pratique de communication, qui revêt aujourd'hui de nombreuses formes : les appels, mais aussi les messages (SMS) et les communications électroniques via un accès à Internet. Ces pratiques de communication hétérogènes mais inscrites dans l'espace et dans le temps nous éclairent partiellement sur la mobilité des individus. Par le biais de l'enregistrement de la localisation des communications, elles apportent en effet une information ponctuelle sur le mouvement de ces individus. Comment saisir, dans ce cas, la mobilité individuelle à travers les pratiques de communication ? Est-ce qu'il existe des effets de contexte expliquant l'importance relative de certaines traces dans des lieux spécifiques ? Présenter les avantages et les limites des données de téléphonie mobile dans le but de comprendre les mobilités individuelles permet d'ouvrir des pistes de recherche pour aller dans le sens d'une validation de ces données de téléphonie mobile et permet aussi de justifier les choix de traitement, en particulier des méthodes d'agrégation qui auront été faits dans ce travail.

III.1. Les données d'usage des téléphones portables

Revenir au mode de création de ces données permet d'estimer quel type d'information géographique peut être construit à partir d'elles. Leur enregistrement dépend en effet d'une part de l'organisation et du fonctionnement du réseau de télécommunication de l'opérateur, et d'autre part des usages que font les individus de leur appareil. Il faut donc déterminer jusqu'à quel point les enregistrements peuvent être interprétés comme des traces spatio-temporelles de la mobilité de ses individus.

III.1.1. Le fonctionnement du réseau de téléphonie mobile d'Orange

La compréhension du fonctionnement du réseau de téléphonie mobile (Figure 3.1) est un préalable essentiel pour comprendre comment sont collectées les données de téléphonie mobile (Smoreda, Olteanu-Raimond et Couronné, 2013).

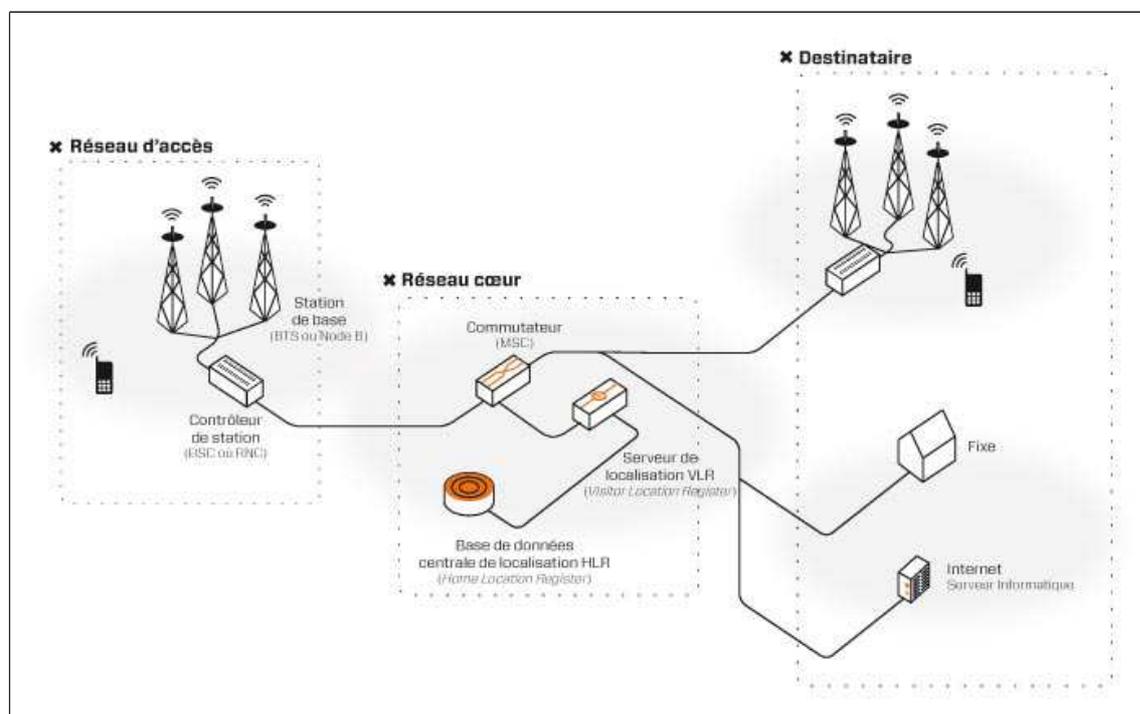


Figure 3.1 : L'organisation du réseau mobile

(source : <http://homo-mobilus.fr/questions-reseau/pourquoi-le-reseau-mobile-est-il-relie-au-reseau-fixe>)

Les téléphones portables transforment la voix des usagers en un signal numérique qui est transmis à une antenne du réseau de téléphonie mobile. Le réseau de téléphonie mobile peut se décomposer en trois éléments : le réseau d'accès, le réseau cœur, et le destinataire. Au niveau du réseau d'accès, les téléphones portables des usagers se trouvent dans la zone de couverture d'une antenne. L'antenne, souvent directionnelle, est installée avec d'autres antennes sur une station de base dont l'abréviation est BTS (*Base Transceiver Station*). Pour l'ensemble de la région Ile-de-France, le réseau Orange possède 3127 stations de base, dont environ un millier est réparti dans Paris centre. Les stations de base s'occupent de l'émission

et de la réception des ressources radio-mobiles et elles sont contrôlées par des instruments contrôleurs appelés BSC (*Base Station Controller*) qui eux sont chargés d'allouer les ressources radio. Si le téléphone portable sort de la zone de couverture d'une antenne, le contrôleur alloue un nouveau canal au téléphone.

Dans le réseau cœur, des commutateurs les MSC (*Mobile Switch Center*) sont chargés de relier le réseau radio-mobile au monde extérieur. Les commutateurs sont associés à deux bases de données : la base de données HLR (*Home Location Register*) qui regroupe toutes les informations concernant tous les abonnés de l'opérateur et la base VLR (*Visitor Location Register*) qui comprend les informations concernant les usagers présents dans la zone de couverture du commutateur. Quand le commutateur cherche un téléphone pour un appel entrant, il sollicite ces bases de données. C'est à partir de ces deux bases de données qu'il est possible de connaître la localisation des téléphones portables. La figure 3.2 reprend le modèle des données brutes tel qu'il est fourni par l'opérateur de téléphonie mobile.

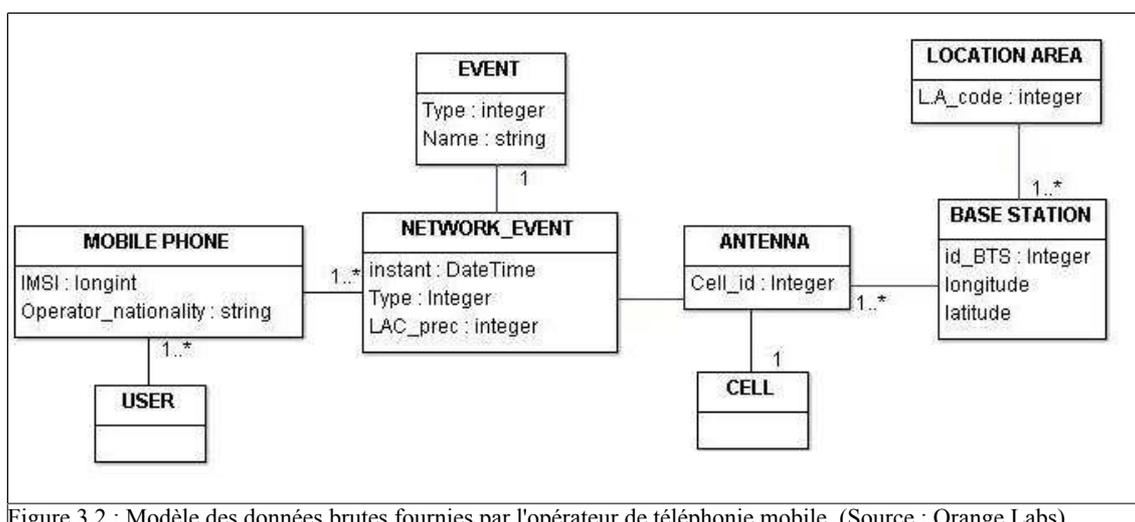


Figure 3.2 : Modèle des données brutes fournies par l'opérateur de téléphonie mobile. (Source : Orange Labs)

La localisation du téléphone portable au sein du réseau de téléphonie mobile est enregistrée lors de certains évènements (la classe *event* de la figure 3.2) :

- Appels émis et reçus,
- Sms émis et reçus,
- *Handovers* (changement de cellule, classe *cell* de la figure 3.2, de couverture en cours de communication),
- Changement de zone du réseau (classe *Location Area* de la figure 3.2) qui se produisent dans le réseau de téléphonie mobile,
- Mise à jour du réseau en cas d'inactivité du téléphone (*Location Area update*).

Cette localisation correspond à l'identifiant de l'antenne (classe *antenna*) du réseau de téléphonie mobile que le téléphone portable a sollicité pour se connecter au réseau (ou inversement, quand c'est le réseau qui recherche le téléphone portable).

Au niveau de l'opérateur, une autre base de données, la base de données de facturation comptabilise le nombre de communications effectuées par l'utilisateur. Cette base ne comprend plus les données de localisation des événements de téléphonie mobile. De telles informations ne peuvent être obtenues sans un partenariat avec l'opérateur de téléphonie mobile (Cariou 2007 ; González et alii 2008 ; Ahas, 2010 ; Song et alii 2010; Cariou 2010).

A partir de ces données brutes produites chez les opérateurs, différents types d'agrégation peuvent être construits. En conséquence, les auteurs ne disposent pas tous du même type de données. Ratti et alii (2006), Reades et alii (2007), Sevtsuk et Ratti (2010) utilisent le volume d'appel (exprimé en erlang) comme indicateurs de la distribution spatiale de la population romaine. L'erlang est une unité de mesure particulière : un erlang correspond aussi bien à l'utilisation d'un téléphone portable pendant une heure qu'à l'utilisation de deux téléphones portables pendant une demi-heure. L'emploi de cet indicateur nécessite donc de prendre de nombreuses précautions.

D'autres chercheurs disposent du nombre d'appels émis par les usagers de téléphonie mobile (Cariou, 2007), du nombre d'appels émis d'un lieu à un autre entre deux usagers d'un même opérateur (grâce aux données de facturation) ou des différentes localisations des individus à partir desquelles on peut inférer des déplacements.

Dans le cadre de notre projet chez Orange, nous avons eu accès à différents jeux de données, à des niveaux d'agrégation différents : le nombre de communications (appel et SMS) par antenne dans Paris centre, le jour de la fête de la musique 2008, le nombre de communications (appels et SMS) par antenne dans Paris centre pendant le mois de décembre 2009 et enfin les différentes traces laissées par des usagers de téléphonie mobile pendant une semaine de mars-avril 2009. Ces données concernent toutes des usagers de la 2G⁴⁰.

Si l'on s'en tient à une journée ordinaire en Ile-de-France, on observe entre 40 et 100 millions d'événements enregistrés par jour pour les usagers français d'Orange, concernant entre 2,7 et 4,3 millions de téléphones portables. Le nombre d'individus observés est donc beaucoup plus important que le nombre d'individus que permettent d'obtenir les enquêtes par GPS ou les enquêtes par entretien.

Concernant la représentativité des données d'un unique opérateur : en 2009, d'après une étude interne, Orange détenait 49 %⁴¹ des parts de marché en France métropolitaine et 42 % des

40 La 2G correspond à la deuxième génération de téléphones mobiles basée sur une norme numérique et non plus analogique.

41 Source : Etude concurrence, Orange, 2009.

parts de marché dans la région Ile-de-France. D'après la même enquête, les individus équipés en téléphone portable sont plus jeunes que la moyenne nationale, par exemple, les 25/35 ans représentent 19 % des équipés en 2009, tous opérateurs confondus, contre 15 % de la population totale (il existe ensuite de légères nuances au sein des formes de contrat). Les usagers d'Orange sont en général plus âgés que ceux des autres opérateurs : les plus de 55 ans représentent 27 % des usagers d'Orange, alors que tout opérateurs confondus, ils ne représentent que 24 % des équipés en téléphones portables. Pour ce qui est des catégories socio-professionnelles, les personnes de plus de 15 ans équipées de téléphones portables sont plus actives que la moyenne nationale. Orange comprenant plus d'abonnés de plus de 55 ans, l'opérateur comprend aussi plus de retraités que les autres opérateurs français.

III.1.2. Les imperfections des données de téléphonie mobile

Les données de téléphonie mobile illustrent la notion de données imparfaites (Fischer, 2005 ; De Runz, 2008 ; Buard, 2010). Comprendre les raisons de l'imperfection des données, à défaut de pouvoir mesurer la qualité de ces données est un premier pas pour la construction de l'information géographique. En 2008, C. de Runz identifie quatre types principaux d'imperfections :

- 1) l'incertitude, liée au processus d'observation et de collecte des données
- 2) l'imprécision, « due au caractère vague ou approximatif de la sémantique utilisée » (de Runz, 2008, p.28)
- 3) l'ambiguïté qui est un doute sur la manière de classer un objet
- 4) l'incomplétude due à des connaissances lacunaires

Les données de téléphonie mobile présentent ces caractéristiques.

1) Les données de téléphonie mobile sont des données incertaines

Les données de téléphonie mobile sont imparfaites car incertaines. En effet, le processus de collecte des données de téléphonie mobile peut comporter des erreurs de mesure (Fischer, 2005) concernant la localisation et l'inscription dans les temps des individus observés.

L'une des grandes questions préoccupant les détenteurs de téléphones portables tient à l'idée que leurs faits et gestes sont suivis par l'opérateur. Le téléphone portable est localisé grâce aux coordonnées de l'antenne-relais à laquelle il se connecte, donc grâce aux coordonnées de la station de base à laquelle il se connecte. La précision de la localisation du téléphone portable va donc dépendre de la zone de couverture de l'antenne, zone de couverture aux contours flous.

En effet, la couverture réelle des antennes-relais du réseau de téléphonie mobile n'est pas continue dans l'espace. Elle peut être modifiée par plusieurs facteurs tels que la structure du bâti ou l'orientation et l'intensité des vents. Ainsi, un téléphone portable peut se trouver à plusieurs kilomètres de l'antenne auprès de laquelle il est enregistré par le réseau de téléphonie mobile. Les zones de couverture sont appelées des zones *best server*; mais leur cartographie est, d'une part, confidentielle, d'autre part, soumise à une grande variabilité en fonction de la propagation des ondes radio-mobiles dans le territoire. Par définition, la localisation enregistrée par le réseau de téléphonie mobile est une localisation incertaine car l'observation enregistrée peut ne pas correspondre à la réalité physique : le téléphone portable peut être enregistré comme localisé auprès d'une antenne-relais A qui se trouve en réalité beaucoup plus loin que l'antenne-relais B qui se situe plus près physiquement du téléphone. Ce type de biais dans l'enregistrement de la localisation peut conduire à des vitesses aberrantes de déplacement lorsqu'elles sont calculées d'après les seules données de téléphonie mobile.

Dans un but de simplification, nous avons choisi de représenter les zones de couverture des antennes-relais par une représentation théorique, celle des polygones de Voronoï⁴² autour de chaque station de base (une station de base comporte plusieurs antennes-relais, mais n'ayant aucune information sur la direction de ces antennes, nous avons choisi de considérer la station de base comme unité élémentaire du réseau de téléphonie mobile). La répartition des polygones de Voronoï au sein du territoire francilien est une répartition inégale, suivant un gradient centre-périphérie.

42 Pour passer d'un ensemble de points à des polygones de Voronoï, on découpe l'espace à partir des médiatrices situées entre les points voisins. Un polygone de Voronoï aura donc pour bordures les segments des médiatrices de ce point par rapport à ses points voisins.

III.1. Les données d'usage des téléphones portables

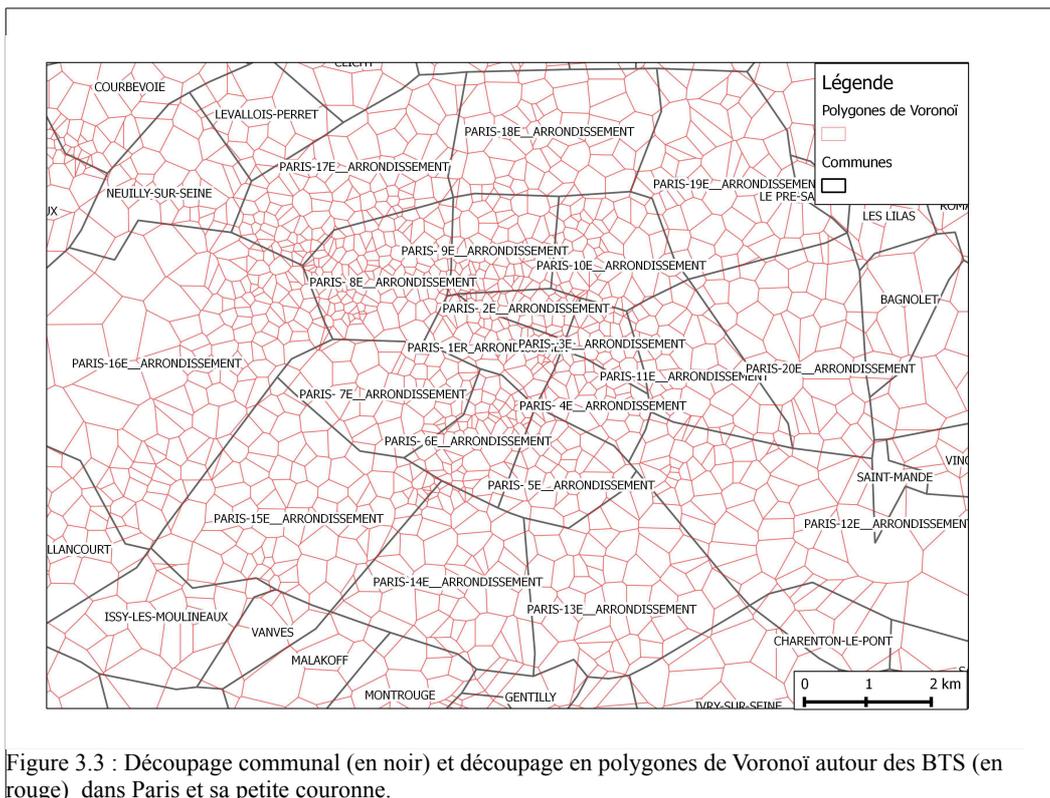


Figure 3.3 : Découpage communal (en noir) et découpage en polygones de Voronoi autour des BTS (en rouge) dans Paris et sa petite couronne.

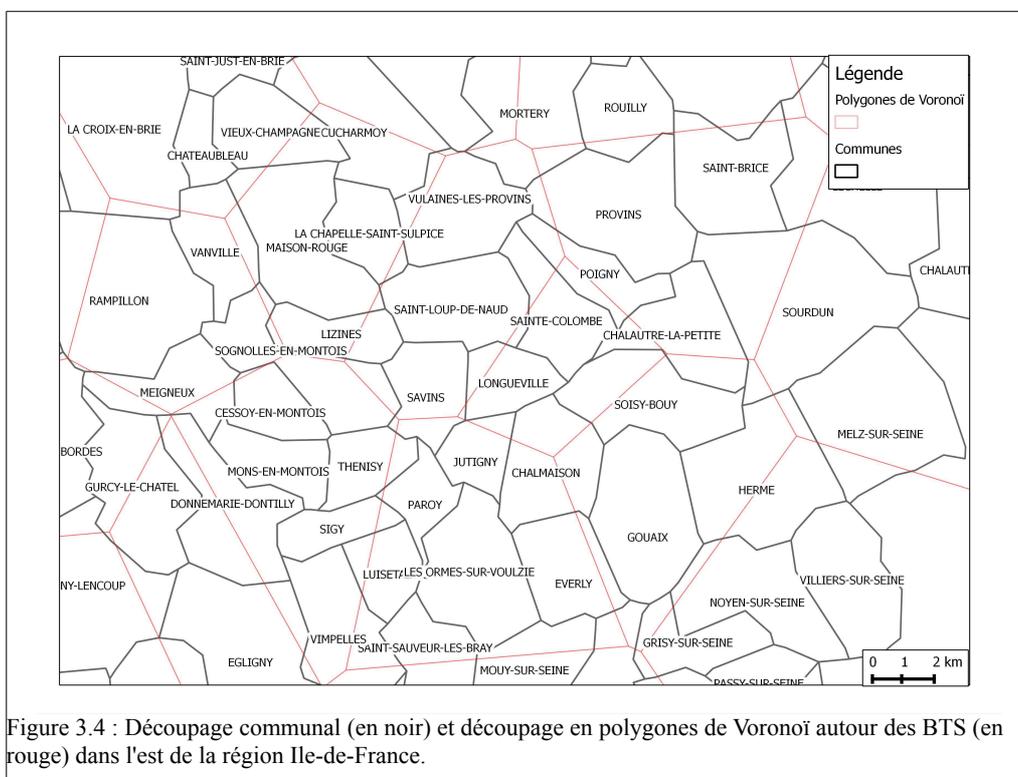


Figure 3.4 : Découpage communal (en noir) et découpage en polygones de Voronoi autour des BTS (en rouge) dans l'est de la région Ile-de-France.

Le découpage en polygones de Voronoï est beaucoup plus fin que le découpage communal dans le centre de Paris (Figure 3.3), mais à l'inverse en grande banlieue, le découpage en polygones de Voronoï est beaucoup plus large que dans le centre de Paris (Figure 3.4), certains polygones de Voronoï comprenant même plusieurs communes.

La variabilité de la taille des polygones de Voronoï est une source d'incertitude. La localisation du téléphone portable est plus précise dans la partie du territoire densément couverte par le réseau de téléphonie mobile (Figure 3.3) que dans celle où les stations de base sont plus rares et la superficie des polygones de Voronoï autour de ces stations est plus large (Figure 3.4).

Enfin, une autre incertitude liée aux données est due au motif de l'enregistrement de la localisation. Lorsqu'un téléphone portable se trouve en bordure de *Location Area*, il peut changer de station de base et donc de *Location Area*. Ces changements de station de base créent des oscillations entre stations, expliquant que certains individus présentent un nombre important de déplacements entre deux stations.

2) Les données de téléphonie mobile sont des données imprécises : quelle sémantique attribuer aux données de localisation des téléphones portables ?

Pour construire une information sur les mobilités à partir des données de téléphonie mobile, il est nécessaire d'utiliser des connaissances externes à la donnée brute. Parmi ces connaissances externes, le contexte spatial ou le contexte de communication peuvent être utilisés. Mais la connaissance de ces deux contextes est imprécise.

En caractérisant l'espace environnant la trace laissée par l'utilisateur de téléphonie, soit le contexte spatial des traces, il est possible d'inférer davantage de sens autour de ces données. Pourtant, caractériser l'espace environnant les stations de base du réseau de téléphonie mobile et donc les polygones de Voronoï pose un problème d'adéquation entre les données collectées de manière officielle à partir des découpages administratifs classiques et ces données récoltées au niveau du réseau de téléphonie mobile. Les deux découpages ne coïncident pas (Figures 3.3 et 3.4), et la relation entre le découpage communal et le découpage en polygones de Voronoï est différente selon qu'on se trouve au centre de l'agglomération ou à l'extérieur.

Le contexte de l'enregistrement peut aussi servir à comprendre comment construire une information sur la mobilité à partir des communications mobiles. Les événements de téléphonie mobile, quand ils sont enregistrés au sein des bases de données techniques (HLR et VLR voir III.1.1, p.80) révèlent des pratiques complètement différentes. Certains de ces événements sont enregistrés suite à une activité de l'utilisateur, tandis que d'autres sont enregistrés de manière automatique par le réseau.

Type évènement	Statut
Appel émis SMS émis	Pratiques de communication de l'utilisateur à son initiative
Appel reçu SMS reçu	Pratiques de communication de l'utilisateur à l'initiative des autres
<i>Handover</i> (Changement de cellule en cours de communication)	« Hybride » Soit de la mobilité en communication, soit un « effet du système »
<i>Imsi</i> ⁴³ <i>attach</i> (terminal qui s'allume)	Ni communication, ni mobilité, mais action de l'utilisateur
Changement de <i>Location Area</i>	« Hybride » Soit de la mobilité en communication, soit un « effet du système »
<i>Location Area update</i> (mise à jour du réseau environ 6h)	Usager inactif et pas forcément mobile

Tableau 3.1 : Les « évènements » du réseau de téléphonie mobile qui donnent lieu à un enregistrement de localisation

Dans le tableau 3.1, sont présentés les différents évènements du réseau de téléphonie mobile. Ces évènements ne révèlent pas la même chose si l'on s'intéresse au rapport entre l'individu, le territoire et la communication :

- les évènements de communication active de la part de l'individu sont liés à un contexte social ou spatio-temporel. Par exemple, un événement festif expliquera une intensité importante de communications mobiles et révélera sur la carte une présence importante d'utilisateurs de téléphonie mobile.
- les évènements qui suscitent un enregistrement sans que l'individu n'ait utilisé son téléphone portable ne sont plus du tout liés à ces effets de contexte, mais sont au contraire de simples « traces » laissées par le téléphone portable d'un individu.

Dans les deux cas, la présence ou l'absence d'utilisateurs de téléphonie mobile sur le réseau de téléphonie mobile est à distinguer de la présence ou absence d'individus au sein du territoire. On se situe dans un « territoire » particulier, celui du réseau de téléphonie mobile.

3) Les données de téléphonie mobile sont des données incomplètes

En réalité, l'entité dont la localisation est enregistrée est un téléphone portable qui possède un identifiant. On ne dispose donc d'aucun renseignement sur son détenteur. C'est uniquement en recoupant les données de localisation avec les données de facturation qu'il est possible de retrouver l'identité du détenteur du téléphone portable.

Le protocole même de collecte des données au niveau des bases HLR et VLR peut comporter

43 International Mobile Subscriber Identifier

des erreurs, ce qui explique que certaines informations manquent. Certains champs (comme le type d'évènement, l'identifiant du téléphone portable, l'identifiant de l'antenne-relais etc...) de la base de données ne sont pas renseignés ou sont mal renseignés.

Les données de téléphonie mobile sont des données incomplètes car il existe des lacunes dans la base de données. Il peut s'écouler un intervalle de temps assez long entre deux enregistrements, puisque le seul type d'évènement qui intervient à intervalles réguliers, est la mise à jour du réseau (qui recherche la localisation du téléphone portable) toutes les six heures environ. Il n'est donc pas possible de suivre de manière exhaustive toutes les localisations des individus et entre deux localisations successives. Si l'intervalle de temps qui s'est écoulé est long, on n'a aucune idée de la trajectoire réelle de l'individu. N. Andrienko, G. Andrienko, H. Stange et alii (2012) qualifient ce type de données d'épisodiques, dans la mesure où elles ne fournissent pas d'information sur un mouvement continu mais sur des épisodes de ce mouvement.

4) les données de téléphonie mobile sont des données ambiguës

Au total, en raison de ces nombreuses imperfections, les données de téléphonie mobile sont des données ambiguës. Il est difficile de caractériser avec précision le mouvement des individus, leurs trajectoires ou leurs périodes d'arrêt.

Ainsi, travailler à partir de données de téléphonie mobile, nécessite au préalable, une longue préparation de ces données pour en obtenir une information géographique exploitable. L'une des premières étapes de la préparation des données consiste à éliminer le maximum de « bruit » possible, en supprimant les imperfections résultant du processus de collecte des données comme les nombreuses oscillations qui peuvent intervenir au sein de la même minute pour un individu. A l'aide d'un programme informatique (script) réalisé par A.-M. Olteanu, on peut ainsi réduire le nombre de données de 98.6 millions de lignes à 74 millions de lignes, soit une réduction de presque un quart du volume des données. Ce travail préparatoire nécessite cependant de faire des hypothèses sur les formes statistiques prises par le bruit : ici on élimine simplement les multiples répétitions d'une localisation au sein de la même minute. Mais c'est aussi un travail coûteux en termes de temps de calcul. Pour filtrer une journée ordinaire en Ile-de-France, le programme nécessite deux heures de calcul. De la même manière, il est possible d'éliminer les vitesses aberrantes observées pour un individu. Une série de programmes informatiques (réalisés par A.-M. Olteanu) a permis de réduire la quantité de données observées en éliminant celles qui ne fournissaient pas une information pertinente.

A l'inverse, il n'est pas possible d'intervenir directement sur les imprécisions géographiques, sémantiques ou sur les lacunes temporelles des données. Les données issues de l'utilisation des téléphones portables présentent de nombreuses différences par rapport à des données issues de capteurs comme des GPS :

- la cadence d'enregistrement n'est pas régulière,
- la précision spatiale est moins fine qu'avec les GPS, puisque la localisation ne correspond pas à des coordonnées géographiques mais à une zone de couverture d'une antenne-relais⁴⁴, mais à l'inverse dans ces deux cas la localisation s'abstrait des limites administratives classiques à partir desquelles sont collectées les données d'enquête sur les mobilités,
- les enquêtes par GPS permettent parfois d'avoir accès à des données complémentaires sur les individus alors que ce n'est pas possible avec des données issues de téléphones portables,
- à l'inverse, les enquêtes par GPS ne peuvent se faire que sur un nombre restreint de personnes, tandis que les données de téléphones portable permettent d'avoir un suivi de population sur plusieurs millions d'individus,
- les données issues des téléphones portables permettent aussi d'avoir un suivi temporel très long alors que le coût d'une enquête par GPS ne permet pas un tel suivi longitudinal.

Ces données massives sont imparfaites et hétérogènes et il est donc nécessaire de construire un cadre méthodologique solide permettant de traiter de la mobilité à partir de ce type de données. La construction de ce cadre passe par une connaissance fine des processus de collecte de données, mais aussi par des choix à effectuer concernant le niveau de connaissance qu'il est possible d'extraire.

III.1.3. La nécessité du passage de l'individu aux lieux

Les données de téléphonie mobile de l'opérateur Orange nous fournissent des données de localisation d'individus dans le temps. Disposer de données relatives aux positions des individus ne suffit pas pour construire une information géographique sur les mobilités (Etienne, 2011). Seule l'utilisation de concepts et de notions relatives aux mobilités permet d'exploiter ces données de position.

Les cadres théoriques permettant de saisir la mobilité s'articulent principalement autour de deux niveaux d'analyse : le niveau de l'individu et celui du territoire. Dans le cadre de cette thèse, nous avons choisi de nous intéresser à l'échelle du territoire pour deux raisons : d'une part, les imperfections des données rendent difficile une analyse des trajectoires individuelles qui prendrait en compte les caractéristiques inhérentes aux trajectoires pour faire émerger des

44 Ou plusieurs antennes-relais si l'on considère que l'on ne connaît que les coordonnées de la station de base qui comporte elle-même plusieurs antennes-relais.

comportements types⁴⁵, et d'autre part l'utilisation de données de téléphonie mobile soulève encore aujourd'hui des questions éthiques.

Les données individuelles telles qu'elles sont fournies par l'opérateur de téléphonie mobile fournissent une information parcellaire aux deux niveaux de l'échelle d'observation : aussi bien le comptage des individus au sein d'une zone définie que le suivi de ces individus sont imparfaits. Les données de téléphonie mobile sont des données collectées à une granularité spatiale qui est celle du réseau de téléphonie et pas celle du territoire.

Il est encore difficile de quantifier la dégradation de l'information existante entre les mobilités réelles effectuées par l'individu et les mobilités observées par les capteurs que constituent les téléphones portables, car nous manquons d'information comparative entre des données collectées par les téléphones portables et des données collectées par un GPS et questionnaire.

Le passage à un niveau de description et d'analyse supérieur, permet de dépasser en partie les difficultés inhérentes aux données collectées par l'opérateur de téléphonie mobile. Il implique de prendre en compte les mobilités à un autre niveau que le niveau individuel, dans notre cas, il s'agira de prendre en compte des flux d'individus entre les différentes stations du réseau de téléphonie mobile. L'inconvénient d'une analyse à un niveau agrégé est que seuls les déplacements et les activités les plus routinières peuvent être inférés à partir des données existantes.

Une autre solution pour pallier à l'imperfection des données, serait d'avoir recours à la notion de récurrence. La récurrence des activités est un élément central pour l'extraction de connaissance quant aux trajectoires des individus. La temporalité de collecte des données détermine aussi la qualité de l'information extraite : plus le temps de collecte des données est long, plus il est possible de faire des hypothèses sur les mobilités des individus. C'est ainsi en analysant les déplacements des Estoniens sur une longue période que Slim et Ahas (2010) parviennent à identifier les mobilités résidentielles saisonnières entre les résidences d'été situées en bord de mer et les résidences ordinaires. Quand on dispose de données de téléphonie mobile sur une période très courte, on ne peut pas suivre les formes de mobilité qui sortent de l'ordinaire. Mais dans le cas inverse, ces sources de données se révèlent être de formidables supports d'analyses longitudinales.

Par ailleurs, la nécessité de travailler à un autre niveau d'analyse permet aussi de résoudre un problème éthique, celui de l'utilisation de données de mobilité collectées sans l'accord explicite des individus concernés. Les données de téléphonie mobile sont des données sensibles, l'enregistrement réalisé par la base technique comporte systématiquement le numéro d'IMSI⁴⁶ (identifiant du téléphone portable), un identifiant permettant de retrouver

45 Des analyses de ce type consistant à regrouper des trajectoires ont été décrites dans le chapitre 1.

46 International Mobile Subscriber Identifier

l'identité de l'utilisateur. L'utilisation de telles données personnelles relève d'un débat plus général où se pose une question essentielle : comment le législateur, le chercheur et le public peuvent-ils se positionner dans un contexte plus large d'augmentation de la masse des données personnelles disponibles ? V. Peugeot identifie trois types majeurs de problèmes :

« Lorsqu'il s'agit de fichiers étatiques, le risque perçu concerne les atteintes possibles aux libertés fondamentales ; lorsqu'il s'agit de données collectées par des entreprises, les dangers peuvent d'abord venir de failles de sécurité et des usages illicites qui en découlent. Mais les questions les plus complexes en termes de vie privée sont relatives aux nouveaux usages à priori licites liés aux nouvelles pratiques du numérique. » V. Peugeot, 2011, p.40

Sécurité du traitement

Le fournisseur d'un service de communications électroniques est tenu de protéger la sécurité de ses services en :

- garantissant l'accès aux données à caractère personnel uniquement à des personnes autorisées ;
- protégeant les données à caractère personnel de la destruction, de la perte ou de l'altération accidentelle ;
- assurant la mise en œuvre d'une politique de sécurité relative au traitement des données à caractère personnel.

Confidentialité des communications

La directive rappelle, comme principe de base, que les États membres doivent garantir, par la législation nationale, la confidentialité des communications effectuées au moyen d'un réseau public de communications électroniques. En particulier, ils doivent interdire à toute autre personne que les utilisateurs d'écouter, d'intercepter, de stocker les communications sans le consentement des utilisateurs concernés. L'abonné ou l'utilisateur qui stocke ses informations doit préalablement être informé sur les finalités du traitement de ses propres données. Il a la possibilité de revenir sur son consentement pour le traitement des données relatives au trafic.

Rétention des données

La directive détermine que les données relatives au trafic et les données de localisation doivent être effacées ou rendues anonymes quand elles ne sont plus nécessaires pour l'acheminement de la communication ou pour la facturation, sauf si l'abonné a donné son accord pour une autre utilisation. Concernant la question sensible de la rétention des données, la directive stipule que les États membres ne peuvent lever la protection des données que pour permettre des enquêtes criminelles ou préserver la sécurité nationale, la défense et la sécurité publique. Une telle mesure ne peut être adoptée que lorsqu'elle constitue une « mesure nécessaire, appropriée et proportionnée dans une société démocratique ».

Pour garantir la disponibilité des données de communication à des fins de recherche, de détection et de poursuite d'infractions graves, la directive établit un régime de conservation de données.

En cas de violation de la sécurité des données à caractère personnel, le fournisseur de services doit avertir la personne concernée ainsi que l'autorité de régulation nationale (ARN).

Encadré 3.1 : Extrait de la Directive Européenne 2002/58/CE, qui encadre le secteur des Télécommunications, et notamment les données personnelles collectées par l'opérateur (Source :

http://europa.eu/legislation_summaries/information_society/legislative_framework/l24120_fr.htm)

Les données d'usage des téléphones portables collectées par l'opérateur se situent dans le deuxième cas. Comme l'indique V. Peugeot, les risques les plus grands se situent certainement à propos des données collectées suite aux usages numériques : elles donnent lieu à de nombreuses médiatisations comme la polémique concernant les données collectées par la plateforme Facebook⁴⁷, ou par les services de Google⁴⁸. Le débat sur l'utilisation des données personnelles ne peut que s'amplifier avec la multiplication des sites de réseaux sociaux et des

47 Données personnelles : Facebook proche d'un accord avec les autorités.

http://www.lemonde.fr/technologies/article/2011/11/11/donnees-personnelles-facebook-proche-d-un-accord-avec-les-autorites_1602330_651865.html (consulté le 29/08/2012)

48 La géolocalisation transforme votre mobile en espion

<http://www.lefigaro.fr/sciences-technologies/2010/08/22/01030-20100822ARTFIG00200-la-geolocalisation-transforme-votre-mobile-en-espion.php>

applications où les individus partagent volontairement des informations, sans se douter de l'utilisation qui peut en être faite. Il est donc essentiel de distinguer des utilisations abusives de ces données, d'une utilisation à des fins de recherche ou à des fins d'utilité publique, qui permettrait à la fois une meilleure compréhension des mécanismes urbains, mais aussi apporterait un précieux outil d'aide à la décision pour les gestionnaires de l'espace.

Qui plus est, l'utilisation de données de téléphonie mobile est très réglementée. Depuis 2002 et le « paquet Telecom », la législation européenne encadre l'utilisation des données de téléphonie mobile (Encadré 3.1). Dans cette même Directive Européenne **2002/58/CE**⁴⁹, il est stipulé que l'opérateur ne peut utiliser les données du trafic et les données de localisation que si celles-ci ont été rendues anonymes. Celles-ci doivent aussi être utilisées sans recoupement avec les données socio-économiques concernant les individus. Depuis 2010, la commission européenne a entamé une refonte de ce cadre juridique de protection des données personnelles pour prendre en compte les nouveaux usages d'Internet et la gestion des données personnelles qui y sont liées.

Le niveau d'analyse individuelle n'est donc pas le meilleur niveau auquel analyser ce type de données. Les imperfections des données empêchent de rendre compte des mobilités dans leur dimension individuelle et dans leur rapport aux activités des individus. En outre, l'exploitation de données individuelles issue des usages des technologies de l'information et de la communication fait encore débat. En revanche, un niveau d'analyse agrégé permet de surmonter la difficulté éthique et juridique liée à l'utilisation de données personnelles, mais aussi de surmonter certaines difficultés méthodologiques liées à l'imperfection des données, qui empêchent de connaître les trajectoires individuelles avec précision. L'agrégation permet alors de changer de perspective, en s'intéressant non plus aux individus mais aux lieux qui sont fréquentés et mis en relation par ces individus.

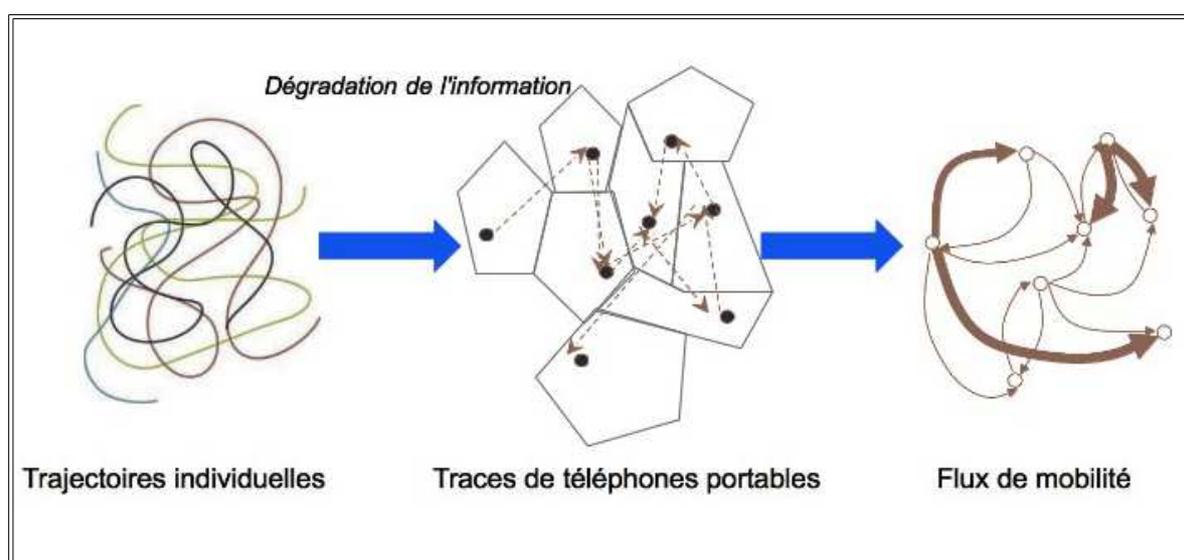


Figure 3.5 : Le passage des trajectoires individuelles aux flux de mobilité

Dans la figure 3.5, nous résumons le choix d'agrégation effectué dans ce travail de thèse. Les données dont nous disposons sont des traces de la connexion d'un téléphone portable à une antenne du réseau de téléphonie mobile. Il y a donc un écart entre les trajectoires individuelles et ces traces. Nous avons pris le parti d'orienter notre analyse autour des antennes du réseau de téléphonie mobile, plus précisément autour des stations de base du réseau (les seuls éléments pour lesquels on dispose de coordonnées géographiques). Les stations de base du réseau de téléphonie mobile peuvent être associées à des lieux et ainsi fournir une information sur l'organisation des mobilités au sein de l'espace urbain.

III.2. L'explosion des communications mobiles

Les données issues de la téléphonie mobile apparaissent comme un bon medium pour connaître la mobilité, en partie car les deux pratiques, celle de la communication et celle des déplacements, sont très liées. Les télécommunications mobiles, comme l'ensemble des technologies de l'information et de la communication ont participé d'une révolution industrielle commencée au XIXème siècle. Les pratiques de mobilité et de communication ont connu leur essor à la même période et ont évolué en croissant de manière parallèle. Contrairement à ce que certains analystes avaient pu annoncer, la communication à distance ne s'est pas substituée à la mobilité, elle l'a au contraire accompagnée, voire amplifiée. Ces deux pratiques participent aujourd'hui de cette mise en relation de toutes les parties du monde qu'on appelle mondialisation. Elles modifient non seulement les pratiques individuelles mais le rapport des personnes à l'espace : la communication mobile permettant par excellence, de dépasser la distance séparant des interlocuteurs. Mais en quoi la communication peut-elle nous renseigner sur la mobilité? La présentation des données de téléphonie mobile montre que les enregistrements de localisation des téléphones portables peuvent être causés par des pratiques de communication mais aussi par des pratiques d'itinérance au sein du réseau de téléphonie. Pour comprendre davantage l'information de mobilité qu'on peut construire à partir de données d'usage des téléphones portables, nous essayons ici d'éclairer la relation entre communication et mobilité.

III.2.1. Un essor des communications et des mobilités

« A l'origine, le téléphone était un équipement collectif : on le trouvait dans certains endroits publics (gare, hôtels, grands magasins, postes) que l'on fréquentait pour y avoir accès. Il est ensuite devenu un équipement des lieux privés, maisons, entreprises. Aujourd'hui c'est un équipement personnel, attaché à un individu, qui peut théoriquement s'en servir à tout moment et en tout lieu. Le numéro de téléphone ne désigne plus une adresse, mais une identité. » (Ascher, 2003, p.23)

Les télécommunications dans leur ensemble et le téléphone en particulier ont évolué en

parallèle de la mobilité. Alors que le chemin de fer commençait à conquérir l'Europe et les Etats-Unis, les télécommunications faisaient aussi leurs premiers pas. Le téléphone est inventé en 1876. En 1878, le plan Freycinet voté par la III^{ème} république française vise à construire un réseau ferré pour désenclaver les régions et favoriser le développement économique. Dans les deux cas, c'est tout un ensemble de facteurs sociétaux, économiques et industriels qui permettent à ces innovations de se développer (Castells, 2001). L'arrivée de l'électricité favorise le développement et la diffusion du transistor inventé en 1947. La Ford « T », première automobile produite en grande série par l'entreprise Ford au début du siècle, correspond elle à une période de mutation des systèmes de production industrielle.

Les deux pratiques de mobilité et de communication sont donc avant tout des produits d'innovations technologiques qui se sont développées tout au long du XX^{ème} siècle. Aujourd'hui ces deux pratiques sont largement diffusées et on observe une corrélation forte entre les mobiles et les communicants. Le téléphone portable est un outil de communication largement diffusé. En 2009, 82 % de la population française est équipée d'un téléphone portable (Bigot et Crotte, 2009). L'évolution même de l'objet téléphonique est un indice de cette corrélation : au départ objet fixé dans un lieu, le téléphone se transforme en outil individuel, porté quasiment en continu par son détenteur (Townsend, 2000). C'est en raison de cette dimension individuelle du téléphone portable que le lien peut être fait entre l'objet, ses localisations et celles de son détenteur. C'est aussi en raison de cette forte appropriation du téléphone portable qu'il constitue un capteur de déplacements. Rappelons que le téléphone portable est avant tout un outil permettant de téléphoner en situation de mobilité, contrairement au téléphone fixe dont l'utilisation nécessite d'être dans un lieu disposant d'un abonnement (donc soit d'un lieu public où les téléphones sont accessibles, soit d'un lieu privé relevant du domicile ou du travail, où les téléphones sont connectés au réseau en raison d'une fréquentation régulière de ce lieu par l'individu). Au contraire, le téléphone portable n'est pas associé à une localisation définie comme le téléphone fixe pouvait l'être vis à vis du domicile, mais il est « portable » permettant sans cesse à son détenteur de joindre ses interlocuteurs et par conséquent permettant de suivre son détenteur dans ses déplacements.

La question que l'on peut alors se poser est celle de la relation entre la mobilité et la communication. Est ce que les individus mobiles sont aussi ceux qui utilisent le plus leur téléphone portable ? Si c'est le cas, les traces obtenues à partir des usages des téléphones portables ne fournissent-elles pas une surreprésentation de cette catégorie d'individus ?

T. Couronné, A.-M. Olteanu-Raimond et Z. Smoreda (2011) comparent les données de localisation des téléphones portables obtenues à partir de deux catégories d'évènements enregistrés, les données liées à une pratique de communication (appel, SMS, *handover*) et les données liées à de l'itinérance sur le réseau de téléphonie, sans qu'il y ait communication (changement de *Location Area*, mise à jour du réseau). La comparaison des combinaisons des

deux types de distribution montre qu'il existe une probabilité forte de deux types de combinaisons :

- la première combinaison regroupe les individus ayant peu de traces d'itinérance et peu d'événements de communication enregistrés
- la deuxième combinaison regroupe les individus ayant de nombreuses traces d'itinérance, donc présentant une mobilité importante et ayant aussi de nombreux enregistrements liés à des communications.

L'autre résultat de cette comparaison des données de mobilité et de communication révèle que passé un certain seuil de communications, la distance moyenne parcourue par les individus augmente moins. Ces deux résultats confirment qu'il existe une relation entre la mobilité et la communication : les individus présentant de nombreuses traces de communication présentent aussi de nombreuses traces de mobilité. Mais cette relation n'est pas une simple relation linéaire ou relation de proportionnalité.

De fait, la relation même qui associe un individu à un téléphone n'est pas une relation de un à un. Le taux de couverture des téléphones portables dépasse aujourd'hui les 100 % en France d'après l'ARCEP⁵⁰, ce qui veut dire que nombreux sont ceux qui ont plusieurs abonnements. Le téléphone portable peut être détenu dans le cas d'un abonnement professionnel, le sens qu'il est possible de donner à des traces issues d'usages différents se complexifie davantage. Les données de localisation issues de l'utilisation du téléphone portable professionnel présentent peut-être encore plus d'imperfections que les données issues de l'utilisation du téléphone personnel, car l'utilisation du téléphone professionnel obéit moins à des routines de gestion du quotidien qu'à une organisation du temps de travail. Ainsi, cet outil de travail ne permet peut-être pas de suivre les déplacements des individus quand ils ne travaillent pas.

III.2.2. La communication révèle les territoires vécus

La communication révèle non seulement la mobilité, mais aussi les lieux dans lesquels les individus passent du temps. Le statut de ces lieux est très variable (ce point sera développé dans la partie suivante sur le contexte des communications).

Une étude longitudinale des communications issues des téléphones portables (Ahas, Aasa, Silm et alii, 2007) permet de retrouver le lieu de résidence nocturne des individus. Le téléphone portable permet de retrouver des lieux d'ancrage (Ahas et alii, 2010), c'est à dire qu'il permet de retrouver les différents lieux pratiqués par le détenteur du téléphone portable, donnant ainsi à voir un autre aspect de la mobilité en identifiant les lieux qu'elle permet de

relier. La récurrence des communications permet en effet, de construire des algorithmes de détection de domicile ou de détection de lieu de travail à partir de l'inscription dans l'espace et dans le temps des données de téléphones portables. Les auteurs utilisent des données collectées pendant une période assez longue et considèrent les antennes-relais qui apparaissent le plus souvent au sein des créneaux horaires considérés comme les créneaux de résidence ou de travail. Ainsi, une connaissance de l'organisation spatio-temporelle moyenne des individus permet d'identifier des lieux types tels que les lieux de domicile ou les lieux de travail. C'est dire le potentiel de ces données pour compléter, enrichir les sources d'information sur la mobilité ordinaire. Les données sur les déplacements domicile-travail collectées ponctuellement par le moyen des recensements ou des enquêtes pourraient être mises à jour beaucoup plus rapidement, permettant ainsi aux décideurs de suivre l'évolution de l'aire d'influence d'un pôle d'emploi au fil des saisons.

Les données de communication mobile nous apportent aussi une information sur un autre territoire, le territoire des sociabilités. Car, contrairement à l'idée selon laquelle la communication remplacerait la présence physique, la communication ne réduit pas l'effet de la distance. L'observation des communications mobiles tend à prouver que les communications se font de manière privilégiée avec des interlocuteurs proches spatialement. La probabilité qu'ont deux individus vivant loin de communiquer ensemble diminue avec la distance qui les sépare suivant une loi de puissance décroissante (Lambiotte, Blondel, de Kerchove et alii, 2008). R. Lambiotte et alii (2008) ont étudié le cas de personnes qui se déplacent et emportent avec elles leurs liens sociaux. Il s'avère que même dans ce cas, les réseaux sociaux des intéressés se reconfigurent en fonction du nouvel espace géographique d'appartenance. Des liens sociaux ayant une plus grande proximité géographique apparaissent de nouveau après la période d'adaptation. La communication ne tend donc pas à combler la distance, elle intervient davantage dans le cadre des liens sociaux de proximité. Les liens distants existent toujours, mais ils donnent lieu à une autre forme de communication, moins fréquente mais qui dure en général plus longtemps que les communications de proximité qui sont fréquentes mais ont une durée très courte (Lambiotte et alii, 2008).

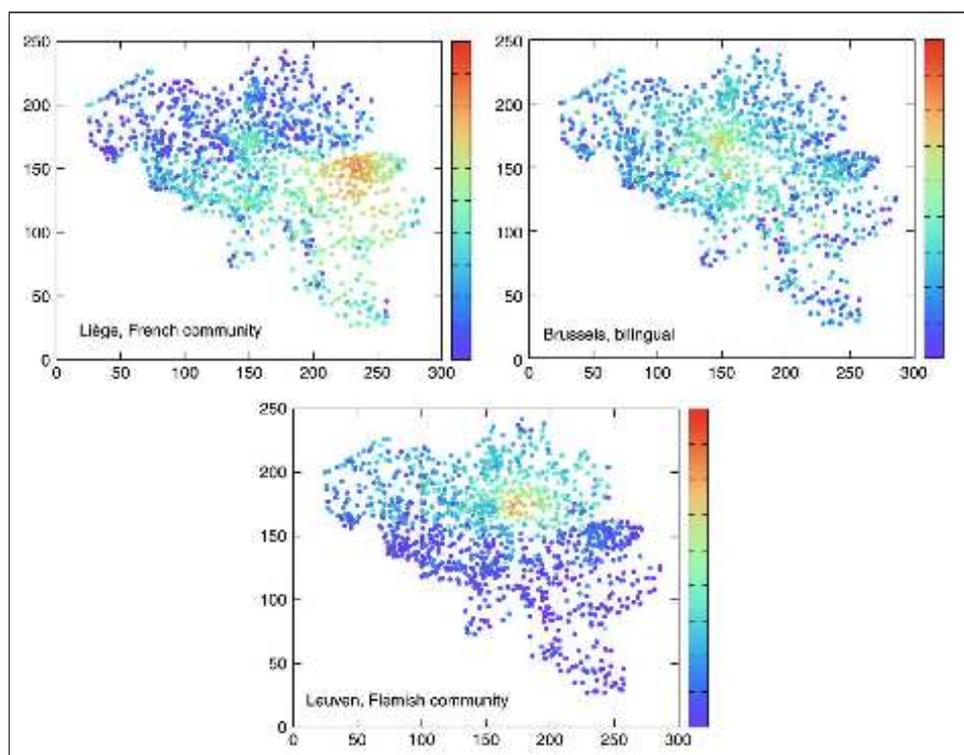


Figure 3.6 : Probabilité qu'ont des clients de Liège, Bruxelles et Louvain d'avoir un lien avec un autre client d'une autre commune belge. La probabilité est représentée avec la plage de couleur, plus les couleurs tendent vers le rouge, plus cette probabilité est forte et inversement, les couleurs froides donnent une probabilité faible. (Source : Lambiotte et alii, 2008)

A la distance géographique s'ajoute un autre paramètre qui est celui des barrières linguistiques.

La figure 3.6 montre le rôle que la distance exerce sur les relations sociales. Les usagers des trois villes de Liège, Bruxelles et Louvain ont moins de chances d'avoir des relations avec des usagers des villes les plus éloignées qu'avec les usagers des villes proches. Mais, R. Lambiotte et alii montrent aussi par cette représentation, qu'il existe des discontinuités spatiales dans ces probabilités calculées à partir de la distance topographique. Les discontinuités sont dues à des barrières linguistiques : dans le cas de Liège ou de Louvain appartenant chacune à une des aires linguistiques belges, on observe clairement une frontière nord-sud. Les clients de Bruxelles, où les deux langues coexistent, ont autant de probabilité de communiquer avec un interlocuteur flamand qu'avec un interlocuteur francophone.

La communication mobile révèle donc non seulement les territoires pratiqués par les individus grâce à la localisation des antennes auxquelles leur téléphone se connecte, mais elle révèle aussi les territoires de sociabilité des individus, à condition de disposer de données sur les destinataires des communications (dans ce cas, seuls les destinataires clients du même opérateur peuvent être identifiés par l'opérateur concerné). Ces territoires de sociabilité se révèlent être des territoires locaux. Ils partagent à la fois une proximité géographique qui laisse supposer que la communication mobile est un complément à l'interaction réelle, et une proximité culturelle, au moins linguistique.

Au lieu de n'être qu'un indicateur de la mobilité, la communication mobile est un révélateur des pratiques du territoire, pratiques de mobilité, mais aussi pratiques d'ancrage ou de sociabilité. Ces pratiques sont liées mais elles sont aussi contextuelles : tout comme les mobilités dépendent des spécificités des individus et de leur environnement, les communications sont associées à un contexte individuel (les caractéristiques socio-économiques des individus), et à un contexte spatio-temporel plus général.

III.3. Le contexte spatio-temporel de la communication mobile

La communication mobile s'effectue dans un contexte spatio-temporel particulier, contexte spatio-temporel que nous pouvons inférer grâce à des connaissances externes, telles que la connaissance de l'organisation de l'espace ou encore la connaissance des temporalités du territoire considéré ou de ce qui relève de l'extraordinaire. Pour conforter les hypothèses d'interprétation sur lesquelles s'appuieront les analyses des deux derniers chapitres, nous explicitons ici le contexte d'usage de la communication mobile. En effet, certaines régularités ont été observées dans les pratiques de communication mobile :

- des interdits, comme le fait qu'on ne téléphone pas d'une salle de cinéma, ou de théâtre (Ling, 1998 ; Jauréguiberry, 2003), qui relèvent des contraintes d'autorité issues de la *Time Geography* (Chapitre 2, p.53),
- des moments forts, comme l'explosion des communications lors d'évènements marquants⁵¹, relevant ici des contraintes de conjonction de la *Time Geography* (Chapitre 2, p.53).

Certains lieux et certains moments, certains motifs sont plus aptes à permettre la communication mobile.

III.3.1. Les temporalités de la communication

La communication mobile permet d'établir une conversation à distance avec un autre individu, c'est un outil de communication interpersonnelle qui peut avoir de nombreux motifs, mais aussi intervenir à de nombreux moments. Le moment de la communication mobile peut correspondre à un contexte externe, contexte de l'évènement qui n'est pas choisi par l'individu mais imposé par le contexte social ou urbain. Le projet *Urban Mobs*⁵² développé par Orange et FaberNovel montre par une série de visualisations l'effet décuplant d'évènements ponctuels comme la fête de la musique, le passage à la nouvelle année ou un concert exceptionnel, sur l'intensité des communications mobiles. Dans ce cadre événementiel, le téléphone sert à

51 Taking the Urban Pulse with Mobile Networks : <http://www.paristechreview.com/2010/06/04/taking-the-urban-pulse-with-mobile-networks/>

52 <http://www.urbanmobs.fr/fr/>

transmettre les émotions, qui, par définition, mettent en mouvement les individus qu'elles affectent. La communication mobile apparaît alors comme un outil de partage par excellence de ces émotions, permettant de relier ces individus à leur réseau social et de partager cet événement. Lors de ces mêmes contextes événementiels, la communication mobile peut servir d'outil de coordination, d'ajustement dans l'urgence. Ainsi lors de l'analyse de la nuit blanche (événement où de nombreux lieux culturels sont ouverts la nuit) de 2008, C. Cariou montre qu'il existe surtout des pics de communication autour des lieux de concerts et pas au sein des lieux des concerts.

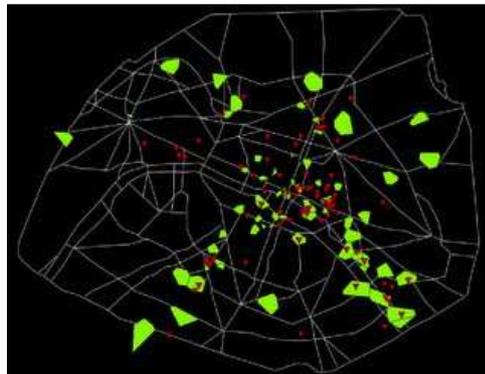


Figure 3.7 : Les places de manifestations (en rouge) et des places de communications (en vert) lors de la nuit blanche 2008. Les places de communications ne coïncident pas spatialement et temporellement avec les places de manifestations. (Source : C. Cariou – Orange Labs, 2010)

Ces communications constituent par excellence, des communications de coordination destinées à rassembler les individus. Cette capacité de coordination est la même que celle identifiée dans les *rave party* par F. Ascher (2003), ces lieux éphémères par excellence et qui nécessitent de la part de leurs participants une communication importante pour justement, faciliter la coordination et le rassemblement ce sont par exemple les *flash mobs* (Townsend, 2000).

Par la coordination, les individus reprennent la maîtrise du temps, utilisant ainsi le téléphone comme un moyen de raccourcir les délais, de gérer l'urgence et la coordination (Schwanen et Kwan, 2008 ; Schwanen, Dijst et Kwan, 2008). F. Jauréguiberry (2003a) qualifie cette possibilité offerte par le téléphone d' « alternative permanente ».

La coordination, autre raison de communiquer très importante, s'inscrit, elle, dans le temps du quotidien, dans les stratégies d'adaptation des individus face aux différentes contraintes matérielles, sociales, spatiales et temporelles, auxquelles ils font face. Ainsi, le téléphone est un outil de l'ajustement quotidien de ces individus face à des situations imprévues, mais il leur offre aussi des possibilités supplémentaires d'organisation. Il sert d'outil dans les « routines de gestion de l'imprévu » (Guillot, 2010) que développent les individus. Les technologies de

l'information et de la communication en général, et le téléphone contribuent à l'évolution des modes de vie en fragmentant les activités (Lenz et Nobis, 2007). Permettant sans cesse l'adaptation et la gestion de l'imprévu, le téléphone portable permet de diviser les activités en un ensemble de petites actions qui peuvent se dérouler dans des lieux différents, à différents moments. Son usage au quotidien, contribue à modifier les pratiques de mobilité en offrant davantage de possibilités aux individus. Dans le cas des chauffeurs de taxi (Townsend, 2000), l'utilisation du téléphone portable modifie en continu leur trajectoire au sein de l'espace urbain. La transmission de l'information quant à la présence de clients potentiels ou non est beaucoup plus rapide depuis la généralisation des téléphones portables, et par conséquent la prise en charge par les chauffeurs de taxi s'en trouve modifiée. A. Townsend insiste sur les modifications que peut produire l'utilisation du téléphone portable si l'on considère l'ensemble des interactions de ses usagers.

L'utilisation du téléphone portable au quotidien, pour ajuster les programmes d'activité ou les mobilités peut faire émerger des phénomènes résultant de ce fonctionnement en « temps réel ».

III.3.2. Les lieux et territoires de la communication

Le déplacement du lieu de la communication de la maison individuelle à la rue rend la communication possible quel que soit l'endroit. Pourtant le lieu de la communication mobile n'est pas anodin. Il revêt une importance essentielle dans la communication elle-même, d'où la question classique « t'es où ? » (Laurier, 2001). La localisation sert souvent de préface à l'appel (Relieu, 2002), permettant aux interlocuteurs de situer l'autre dans l'espace et d'adapter les thématiques et stratégies de communication au contexte spatial d'autrui (Morel, 2002). À l'inverse le rappel de la localisation peut intervenir en fin d'appel pour mettre fin à celui-ci. Le rappel d'une localisation telle que le lieu de travail ou un lieu d'attente, rappelle à l'interlocuteur que l'espace communicationnel est en concurrence avec un autre espace, celui dans lequel l'interlocuteur agit. Ce dernier continue d'agir dans l'espace, même pendant la communication. Ainsi, J. Morel (2002) identifie différents types de trajectoires d'individus qui se déplacent en même temps qu'ils communiquent dans les espaces publics. Les déplacements en cours de communication dans ces lieux publics peuvent parfois répondre à une exigence d'isolement en fonction de la thématique abordée dans la conversation. J. Morel prend l'exemple d'un interlocuteur qui se déplace dans un endroit plus bruyant que celui dans lequel il était. Ce déplacement est pourtant un déplacement raisonné car cet endroit plus bruyant est davantage isolé d'un éventuel public. Cet exemple montre que les individus interagissent avec leur espace environnant pendant la communication, profitant des dispositions de l'espace, soit pour s'y mouvoir, soit pour s'isoler dans un espace restreint consacré à la communication. Le lieu de la communication est donc soit investi pleinement par l'interlocuteur car c'est un lieu

qui s'y prête, soit exploré pour trouver une configuration spatiale propre à la communication.

Certains lieux sont donc plus à même que d'autres de permettre la communication mobile. Le lieu de la communication nous apprend non seulement le rapport de l'individu à son espace environnant, mais aussi les pratiques de l'espace de l'individu au fil de la journée. Quels sont ces lieux d'où on appelle plus facilement ? Il semblerait que les lieux de transit tels que les gares ou les stations de métro étudiées avec attention par J. Morel ou C. Cariou soient des lieux favorables à la communication. Ces lieux de la mobilité par excellence, sont aussi des lieux de la communication, communication de coordination pour retrouver les interlocuteurs proches spatialement, mais aussi communication de l'attente, permise par la fonction de transit et l'anonymat de ces lieux. Pour F. Jauréguiberry (1998 ; *ibid*, 2003b) ces lieux, qui sont pourtant des espaces publics, sont voués à l'individualisme. L'utilisation du téléphone portable y est plus admise que dans les lieux tels que les restaurants ou les cafés dans lesquels la communication mobile apparaît comme une interruption ou un parasitage de l'interaction sociale.

L'analyse des communications mobiles des individus, montre que les communications mobiles se répartissent au rythme des activités quotidiennes des individus (davantage de communications le matin, un creux à midi et encore plus l'après midi). Il n'y a donc pas de lieu spécifique de la communication mobile, mais peut être davantage des contextes spatio-temporels ou organisationnels qui expliquent les usages du téléphone portable. N'ayant aucune information qualitative sur les usages du téléphone portable, nous avons fait le choix de considérer les différentes données obtenues à partir des téléphones portables comme des données de position, afin de construire une information sur la mobilité physique des individus.

Conclusion du chapitre 3

Les communications mobiles constituent une source de données nouvelle pour l'analyse des mobilités. En effet, les opérateurs de téléphonie mobile collectent une grande quantité de données brutes pour le fonctionnement du réseau et pour la facturation. Ces données relèvent néanmoins de différents usages : des usages de communication mais aussi des pratiques de mobilité indépendantes de la communication.

Comment interpréter la relation entre ces différents statuts de données ? Cette interprétation peut se faire grâce à une compréhension des relations existantes entre les pratiques de communication et les pratiques de mobilité. Ces deux pratiques ont évolué en parallèle grâce à de nombreuses innovations technologiques et aujourd'hui elles sont complémentaires plus que concurrentes. La communication mobile permet davantage de flexibilité à ses usagers, permettant de réagencer les emplois du temps jusqu'au dernier moment. En ce sens, elle n'est pas forcément liée à un lieu particulier. Les communications mobiles interviennent dans toutes sortes de lieux, domicile, travail, loisirs. Elles sont largement mobilisées par les individus car elles facilitent la coordination ou permettent tout simplement d'occuper un temps d'attente.

L'imperfection liée à la nature même des données : protocole de collecte produisant de nombreuses incertitudes mais aussi de nombreuses difficultés à construire une sémantique autour de ces données, nous a conduit à privilégier une approche agrégée. Dans cette approche agrégée, les données des téléphones portables sont considérées à égalité, comme des traces de la présence ponctuelle d'un individu. La grande quantité de données disponibles est un atout essentiel qui permet en partie de compenser le manque d'information sur les individus et leurs pratiques réelles de l'espace.

Chapitre 4 : Les comptes de la mobilité ordinaire en Ile-de-France

La mobilité est un phénomène multiscalair, difficile à saisir avec des données d'enquête classique. Aujourd'hui, la disponibilité de données comme les données de téléphonie mobile permet de donner une image différente des mobilités. Mais l'utilisation de cette grande masse de données indifférenciée (qui font partie de ce que les spécialistes anglophones nomment les « *big data* ») pose aussi de nombreux problèmes méthodologiques.

Le traitement et l'analyse d'une telle quantité de traces imparfaites nécessitent de mettre en œuvre une chaîne de traitement de l'information adaptée aux données et à la question posée, qui est celle de comprendre l'organisation des mobilités au sein de la région Ile-de-France. De même que l'extraction des données a requis une collaboration étroite avec des informaticiens du laboratoire Orange, la conception des outils de traitement et de visualisation de cette information s'est effectuée en interaction avec de nombreux chercheurs, notamment parmi ceux réunis dans l'Institut des Systèmes Complexes de Paris-Ile-de-France. C'est en effet dans le contexte des travaux transdisciplinaires sur les systèmes complexes qu'il convient de situer l'analyse des mobilités révélées par le téléphone mobile, qui relève pour partie des outils de la « nouvelle » science des réseaux.

Le traitement de données de téléphonie mobile soulève des problèmes propres à l'imperfection des données et à la grande quantité de données. Une des solutions pour pallier à cette imperfection est d'agréger ces données spatio-temporelles. La spécificité des données de téléphonie mobile est, justement, de disposer de ces deux dimensions : l'espace et le temps. Il n'existe pas une méthode unique d'agrégation mais plusieurs manières de combiner les dimensions spatiales et temporelles de ces données de position afin de restituer les mobilités au sein de l'espace urbain. Grâce à un prototype conçu et développé pour explorer ces questions, nous proposons une série de représentations de la mobilité au sein de l'espace francilien.

Appliquées à l'Ile-de-France, les différentes perspectives offertes par les visualisations des données de téléphonie mobile permettent d'observer des régularités spatio-temporelles dans l'organisation des mobilités, et d'observer avec plus de finesse les formes de mobilité locale.

IV.1.Des traces individuelles aux flux de mobilité

La difficulté d'observer les mobilités à partir des données de téléphonie mobile tient autant de la spécificité des données disponibles que de la nature du phénomène observé. En effet, la mobilité est un phénomène spatio-temporel aujourd'hui encore difficile à prendre en compte par les outils de l'analyse géographique. L'analyse et la représentation des mobilités au sein de l'espace urbain restent un défi méthodologique.

IV.1.1. Agréger les traces individuelles pour représenter le mouvement

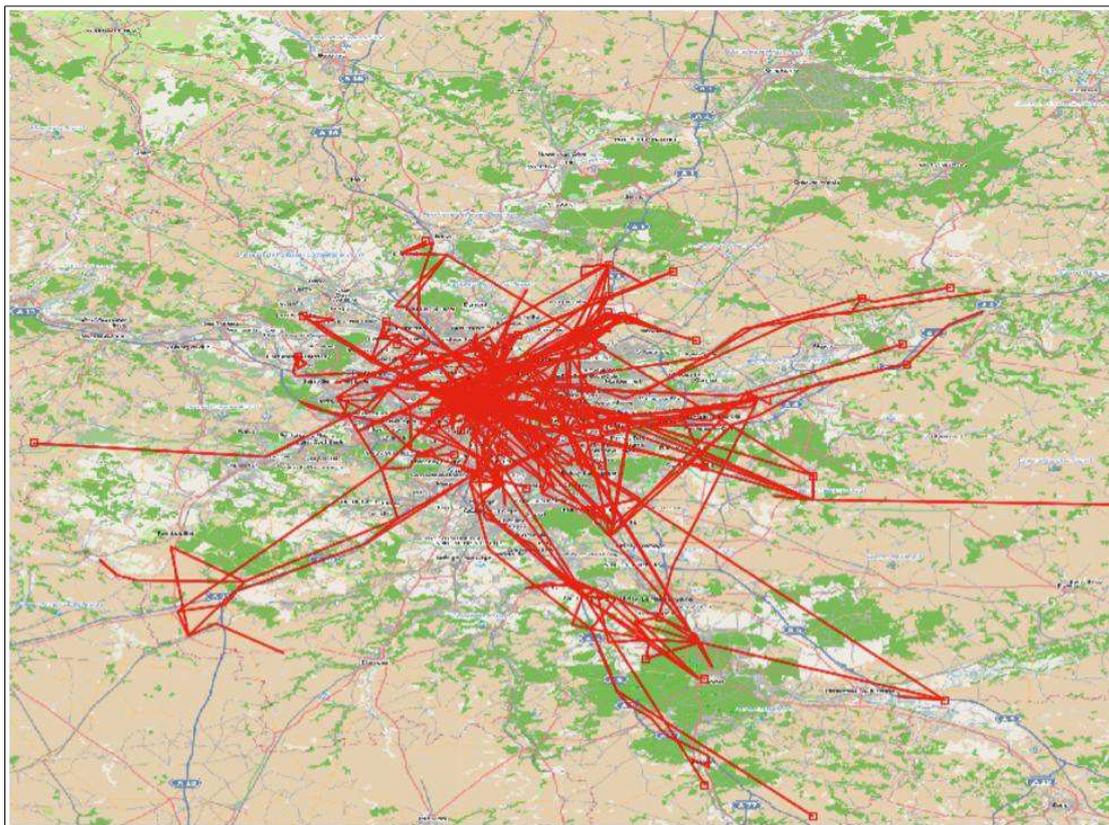


Figure 4.1 : Représentation des trajectoires individuelles de 300 individus le 29/03/2009. Les trajectoires sont constituées à partir de la succession des localisations des individus. (Source : Orange Labs, réalisé avec M-Atlas)

Nous abordons ici la question de l'agrégation des données individuelles, non plus sous l'angle déontologique ou juridique du respect de l'anonymat de ces données, mais sous les aspects techniques de leur compréhension et notamment via leur représentation. Les traces individuelles sont trop nombreuses pour être visualisées dans leur intégralité. La simple représentation des trajectoires de 300 individus (Figure 4.1) s'avère être rapidement illisible. Seul émerge le motif spatial bien connu d'intensités décroissantes du centre vers la périphérie, lié à toutes les répartitions urbaines. Il faut rappeler ici que, même lorsque les flux sont connus à partir d'informations agrégées, les régularités de leurs configurations spatiales sont telles que les spécialistes de la géographie des flux ont souligné l'absolue nécessité de traitements statistiques préalables à l'interprétation de leurs tendances spatiales (Tobler, 1970 ; Wilson, 1970).

De fait, de nombreux auteurs mobilisant les notions de la *Time Geography* se sont retrouvés confrontés à la difficulté de traiter des individus dans leur ensemble (Kwan, 2000 ; Cochey et Tabaka, 2007 ; Shaw, Yu, Bombom, 2008). La géovisualisation des trajectoires individuelles n'est efficace que dans le cas où seul un petit nombre de trajectoires sont considérées (André-Poyaud, Bahoken, Chardonnel et alii, 2009). Au delà d'une dizaine, par exemple, la

représentation est illisible. Pour pallier à cette difficulté méthodologique, ces auteurs proposent de travailler à partir de groupes d'individus fondés sur des typologies, typologies de ménages (Kwan, 2000), de journées, de parcours (Shaw et alii, 2008) ou de programmes d'activités (Thévenin et alii, 2007). M-P Kwan (1999b) favorise par exemple la représentation de sous-groupes (par genre ou par origine ethnique) et la comparaison avec l'ensemble de la population. Les visualisations différenciées des intensité d'activité de deux groupes différents permettent de montrer des pratiques de l'espace différenciées. Cette démarche intéressante est délicate dans le contexte de l'utilisation de données de téléphonie mobile car comme cela a été rappelé ces données ne renseignent que sur un aspect de la mobilité. Il semble difficile de donner du sens à une typologie sans détenir de critères supplémentaires sur les individus. La seule distinction réellement possible est la distinction opérable entre les usagers dont l'opérateur est étranger, mais dont le téléphone portable sollicite les antennes du réseau de téléphonie mobile Orange. L'origine étrangère de l'opérateur est identifiée par l'IMSI⁵³ du téléphone portable, ce qui nous permettra d'observer plus particulièrement cette sous-population dans notre Chapitre 5.

Faute de caractéristiques décrivant l'ensemble des individus abonnés à Orange permettant de les regrouper au sein de catégories faisant sens, nous avons décidé d'agréger ces données individuelles pour construire une représentation générale de la mobilité au sein du territoire francilien. D'un point de vue méthodologique, cette agrégation a nécessité d'investiguer la problématique de la représentation du mouvement au sein de l'espace. Le mouvement, qu'il soit celui d'un individu, d'un objet ou d'une particule, se déroule à plusieurs niveaux. En physique, deux représentations du mouvement co-existent, celle centrée sur le suivi de l'individu, la description lagrangienne, et celle centré sur le milieu dans lequel évoluent les individus, la description eulérienne.

L'analyse exploratoire des objets spatio-temporels (Andrienko, 2006) a été fortement encouragée par la disponibilité de données nouvelles de localisation. Les deux représentations classiques du mouvement sont reprises par G. et N. Andrienko (2010; Andrienko, Andrienko, Bak et alii, 2011) pour déterminer les types d'agrégation possibles à partir de données de position (Tableau 4.1). Ces deux aspects sont complémentaires et nous informent d'un même phénomène, le déplacement d'entités au sein d'un territoire donné. Toutefois, distinguer ces deux aspects permet aussi de distinguer ce qu'il est possible de construire à propos du mouvement d'objets. A partir de cette distinction, G. et N. Andrienko identifient une série d'agrégations possibles pour rendre compte de ce mouvement, si difficile à saisir, car rentrant fortement en conflit avec le statut statique de la plupart des cartes.

53 International Mobile Subscriber Identity

Types de tâche Point de vue sur le mouvement	L'espace crée les conditions du mouvement	Le mouvement est une propriété des seuls objets
Approche eulérienne : Focalisée sur la situation	Tâches : Exploration de l'utilisation de l'espace, accessibilité, perméabilité Agrégation : S, T, S*T, S*A, T*A, S*T*A appliqué aux enregistrements de position considérés comme des événements discrets	Tâche : Exploration des motifs de mouvement collectif (convergence, divergence etc..) Agrégation : les méthodes actuelles ne sont pas applicables
Approche lagrangienne : Focalisée sur la trajectoire	Tâche : exploration de la connectivité de l'espace, flux majeurs, trajets types, utilisation des infrastructures routières Agrégation : S*S, R, R*S*S appliqué aux trajectoires entières ou à des fragments connectant des lieux prédéfinis	Tâche : comparaison des comportements en mouvement Agrégation : S, T, A, S*T, S*A, T*A, S*T*A appliqué séparément aux positions enregistrées pour chaque entité Tâche : exploration des mouvements relatifs et des interactions Agrégation : les méthodes ne sont pas disponibles

Tableau 4.1 : Les types d'analyse du mouvement et les techniques d'agrégation disponibles, traduit d'après G. et N. Andrienko (2010).

G. et N. Andrienko proposent un cadre pour utiliser l'agrégation dans l'exploration visuelle de données de mouvement. Les agrégations sont possibles en utilisant soit un seul des critères suivants, soit en les combinant : S pour l'espace, T pour le temps, A pour attribut et R pour trajectoire. (Source : G. et N. Andrienko, 2010)

Dans le cadre de cette thèse, disposant de nombreuses données imparfaites (Chapitre 3, p.83), et compte tenu de la granularité spatiale et temporelle (deux semaines en Ile-de-France), nous avons choisi de nous concentrer sur l'un des deux aspects du mouvement : soit le mouvement comme fortement influencé par l'organisation de l'espace. Cela implique de se concentrer donc sur l'organisation des mouvements de population à l'échelle du territoire régional.

Plusieurs disciplines offrent des axes de réflexion concernant à la fois ces agrégations de données de localisation mais aussi la représentation et la formalisation du mouvement et des mobilités sur un territoire donné.

En prenant appui dans un premier temps sur les formalismes développés par G. et N. Andrienko, (2010) nous proposons une liste non exhaustive des types d'agrégation possibles à partir des données de téléphonie mobile (Figure 4.2), en fonction des objectifs envisagés.

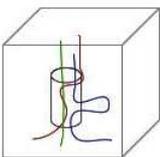
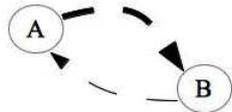
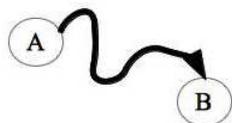
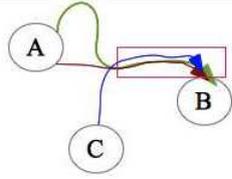
Objectif	Agrégation	Critères de l'agrégation	Objets des données de téléphonie mobile
Comprendre les usages de l'espace		S*T Ou S*T*A	- coordonnées de la station (BTS) - durée (intervalle entre plusieurs positions)
Mesurer les flux de mobilité entre des lieux prédéfinis		S*S Ou S*S*T*T	- coordonnées de la station de départ ou d'arrivée - instant de départ ou d'arrivée
Mesurer les flux de mobilité entre lieux prédéfinis, avec le même itinéraire		S*S*R ou S*S*T*T*R	- coordonnées de la station de départ ou d'arrivée - instant de départ ou d'arrivée - succession des différentes positions du téléphone
Représenter les itinéraires, les axes majeurs		R	Fragments de déplacements ayant la même succession de positions (coordonnées de stations) du téléphone

Figure 4.2 : Les différentes agrégations possibles à partir des données de téléphonie mobile, d'après le cadre établi par G. et N. Andrienko (2010 ; 2011).
Comme dans le tableau précédent, les agrégations sont possibles en utilisant soit un seul des critères suivants, soit en les combinant : S pour l'espace, T pour le temps, A pour attribut et R pour trajectoire. BTS = stations de téléphonie mobile

Nous identifions ainsi quatre principales formes d'agrégation répondant à quatre objectifs différents :

- 1) La première agrégation possible consiste à s'intéresser au nombre de personnes présentes ou communicantes au sein de l'espace urbain.

Cette forme d'agrégation soulève une hypothèse liée à la signification des données : comment nous renseignent-elles sur les densités diurnes (Mille, 2000) et plus généralement sur les activités humaines ? Les données d'usage de téléphonie mobile informent sur la localisation d'individus au fil de la journée mais ce, en fonction des usages de communication, dans leurs interactions avec certaines pratiques de mobilité (Chapitre 3, p.98). Dénombrer le nombre d'individus présents en fonction des données de téléphonie mobile est en lien avec le contexte géographique et temporel des lieux. Ce type d'agrégation est particulièrement intéressant dans le cas de l'analyse d'évènements exceptionnels (Elissalde et alii, 2011 ; projet Urban Mobs⁵⁴).

54 Le projet Urban Mobs est une cartographie « des émotions populaires » lors de différents événements, fête de la musique, passage au nouvel an etc... dans différents pays : France, Espagne Pologne, Roumanie. Ce projet de visualisation dynamique a été développé par Orange et FaberNovel.

Cependant, en cartographiant le nombre de personnes présentes, se manifestant par leurs empreintes de téléphonie sur le territoire, on ne donne qu'une approximation nécessairement sous-estimée du nombre d'individus réellement présents. Les données de téléphonie mobile ne permettent dans un premier temps que de donner des ordres de grandeur de l'intensité de présence, plutôt que des valeurs absolues permettant de compter la population présente.

- 2) La deuxième forme d'agrégation consiste à mesurer les flux entre lieux prédéfinis, sans considérer avec précision l'itinéraire.
- 3) La troisième forme d'agrégation consiste à mesurer les flux entre lieux prédéfinis en considérant l'itinéraire.
- 4) La quatrième forme d'agrégation s'intéresse à des fragments d'itinéraires similaires.

Ces trois formes d'agrégation requièrent des informations précises sur la trajectoire parcourue et sur la nature des lieux fréquentés. Les données de téléphonie mobile ne donnent aucune information sur l'origine et la destination des déplacements (Chapitre 3, p.83). Il est possible d'inférer ce type d'information, mais l'incertitude des données fait que seuls des lieux de fréquentation réitérée, associés dans des routines comme les lieux de domicile ou les lieux de travail peuvent être inférés (Calabrese, Di Lorenzo, Liu, et alii, 2011). Pour ce qui est de connaître les trajectoires individuelles, il existe aussi une grande incertitude sur la précision de la trajectoire. Dans ces deux cas, l'échelle d'analyse est essentielle pour pallier aux imperfections des données : plus la période de collecte des données sera longue et plus le territoire considéré vaste, meilleure sera l'information restituée.

De la même manière que pour la mesure de l'intensité de présence ou d'activité des usagers de téléphonie mobile, il est toujours très délicat de vraiment comptabiliser ces flux. Il s'agit ici aussi davantage d'ordres de grandeurs que de flux de personnes quantifiables de manière exacte.

En conséquence, afin d'analyser l'articulation entre individu et espace urbain, nous avons pris le parti d'utiliser un autre niveau spatial que celui des individus : le niveau spatial des antennes, plus exactement celui des stations du réseau de téléphonie mobile (les BTS). Les BTS sont désormais les éléments de base de notre raisonnement. Ce sont entre ces stations qu'ont lieu les déplacements de personnes. Cette hypothèse de travail fait abstraction de la répartition aléatoire des individus au sein de la zone de couverture de l'antenne, mais il semblait judicieux de raisonner à partir de ces 3200 points fixes du territoire, reliés entre eux par des mouvements de population. L'autre avantage à travailler à partir de ce maillage particulier est de pouvoir observer l'espace urbain selon une autre granularité que celle, classique, des limites administratives, celles des arrondissements, des communes ou des IRIS. Cet avantage est aussi une difficulté. En effet, les polygones de Voronoï dessinés autour des

<http://www.urbanmobs.fr/fr/france/>

antennes BTS et les découpages administratifs classiques à partir desquels sont construites les données collectées par les organismes publics sur le territoire ne coïncident pas (Figures 3.3 et 3.4). Associer ces flux de mobilité à des caractéristiques du territoire nécessitera donc de poser d'autres hypothèses et d'utiliser d'autres sources d'information sur la répartition des activités au sein du territoire.

IV.1.2. Une visualisation exploratoire des flux de mobilité

La représentation et l'analyse des données de téléphonie mobile a nécessité la mise en place d'une chaîne de traitement de l'information spécifique (figure 4.3) car peu d'outils étaient disponibles ou accessibles pour extraire des informations sur les mobilités spatiales à partir de telles données. L'objectif principal de ce prototype était de permettre une exploration de ce que les données de téléphonie mobile pouvaient apporter sur la connaissance des mobilités au sein de l'agglomération parisienne. La construction du prototype a nécessité de nombreux allers et retours entre les représentations obtenues et les données et des modifications successives ont ainsi été apportées au prototype. L'interactivité était au cœur même du processus, de la construction de la chaîne de traitement à la représentation, interactive, permettant de choisir entre différentes représentations du mouvement et de moduler certains paramètres des représentations. L'ensemble du programme informatique, développé dans le cadre du stage de Quentin Lobbé et est accessible sur un site de développement collaboratif à l'adresse suivante⁵⁵ :

<https://github.com/jfenchong/TouristsFlowInParis>

Outre les questions techniques relevant de l'implémentation du raisonnement, la représentation des mobilités au sein de l'espace urbain a soulevé de nombreuses questions concernant :

- La représentation du mouvement : quels types d'objets construire ?
- La restitution de la dimension temporelle
- Le niveau d'agrégation spatiale : à quel niveau l'information restituée fait-elle sens ?

Aucune de ces interrogations n'est close, mais la multiplication des représentations graphiques a permis de vérifier que les données de téléphonie mobile fournissaient une information cohérente et innovante sur les mobilités au sein du territoire francilien.

- Le prototype d'exploration

L'exploration des données de téléphonie mobile a nécessité la mise en place d'une chaîne de traitement de l'information en plusieurs étapes.

⁵⁵ Le programme est mis à jour par Julian Bilcke, ancien ingénieur de l'Institut des Systèmes Complexes Paris Ile-de-France

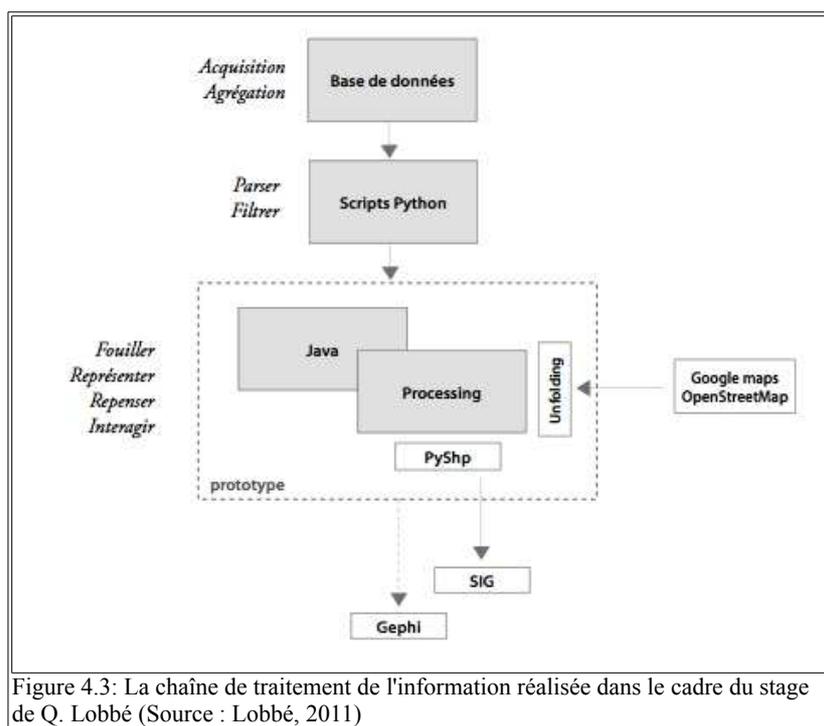


Figure 4.3: La chaîne de traitement de l'information réalisée dans le cadre du stage de Q. Lobbé (Source : Lobbé, 2011)

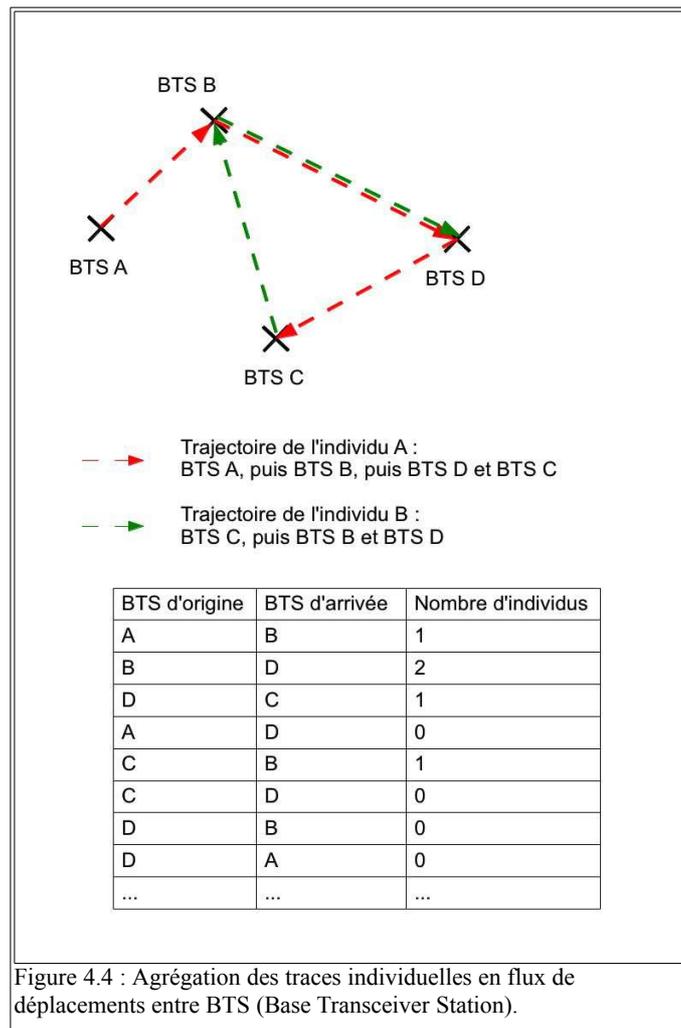
- Etape 1 : l'extraction des données à partir de la base technique. (cette étape n'est pas représentée dans la figure 4.3)

Cette étape est réalisée bien en amont par les ingénieurs des laboratoires d'Orange Labs. Les données extraites des bases HLR et VLR (Chapitre 3, p.80) sont intégrées au sein d'une base de données locale.

- Etape 2 : Interrogation de la base de données (Figure 4.3)

La base de données locale est ensuite interrogée pour construire les différents objets définitifs ou intermédiaires, à partir desquels les visualisations seront réalisées.

L'agrégation des données individuelles au niveau des BTS et pour les plages horaires est réalisée à ce niveau (Annexe A, p.185). Chaque fichier brut comprend une liste d'enregistrements des BTS auxquels les téléphones portables ont été connectés à un moment de la journée, donc une série de coordonnées x,y,t pour chaque individu.



A ce niveau on extrait deux types de fichiers : le nombre d'individus observés par BTS et par heure et le nombre de personnes vues passant d'un BTS à un autre BTS pendant une plage horaire déterminée. Pour construire le deuxième type de fichier, l'ensemble des « trajectoires » individuelles (par trajectoire individuelle, nous entendons ici, la suite des localisations des individus, reliées au fil du temps) est découpé en segments d'un BTS à un autre BTS (Figure 4.4). Le point de départ et le point d'arrivée du segment correspondent chacun à un événement discret dans le temps. Les segments de déplacement entre BTS sont ensuite agrégés en fonction de plages horaires dont on détaillera par la suite les implications.

– Etape 3 : Construction des fichiers de graphe

Pour des raisons d'implémentation, les fichiers contenant les flux entre BTS sont convertis en fichiers au format de graphe pouvant ensuite être intégrés plus facilement dans le prototype. Pour cela, les données sont transformées à l'aide d'un programme informatique⁵⁶ (Annexe B, p.187) en fichier au format de graphe. Le fichier obtenu comporte alors un ensemble de nœuds (les BTS) et un ensemble de liens valués entre ces nœuds (les segments de

56 Les auteurs successifs du script sont Fabien Pfaënder et Julian Bilcke.

déplacements ayant pour poids l'effectif observé de ces déplacements pendant la plage horaire considérée). Ce type de fichier peut être lu par d'autres logiciels ou des bibliothèques spécialisées dans l'analyse des graphes.

– Etape 4 : Représentation graphique

Enfin, dans une dernière étape a lieu la représentation graphique. Le stage de Quentin Lobbé a consisté à développer un outil de visualisation interactive de ces flux de mobilité. Cet outil a été voulu interactif car il permettait d'intervenir directement à la fois sur les données et sur la représentation obtenue.

Les différentes formes de visualisation⁵⁷, ont été construites au fil du développement de l'outil qui avait pour vocation originale de représenter un graphe dynamique de flux de mobilité.

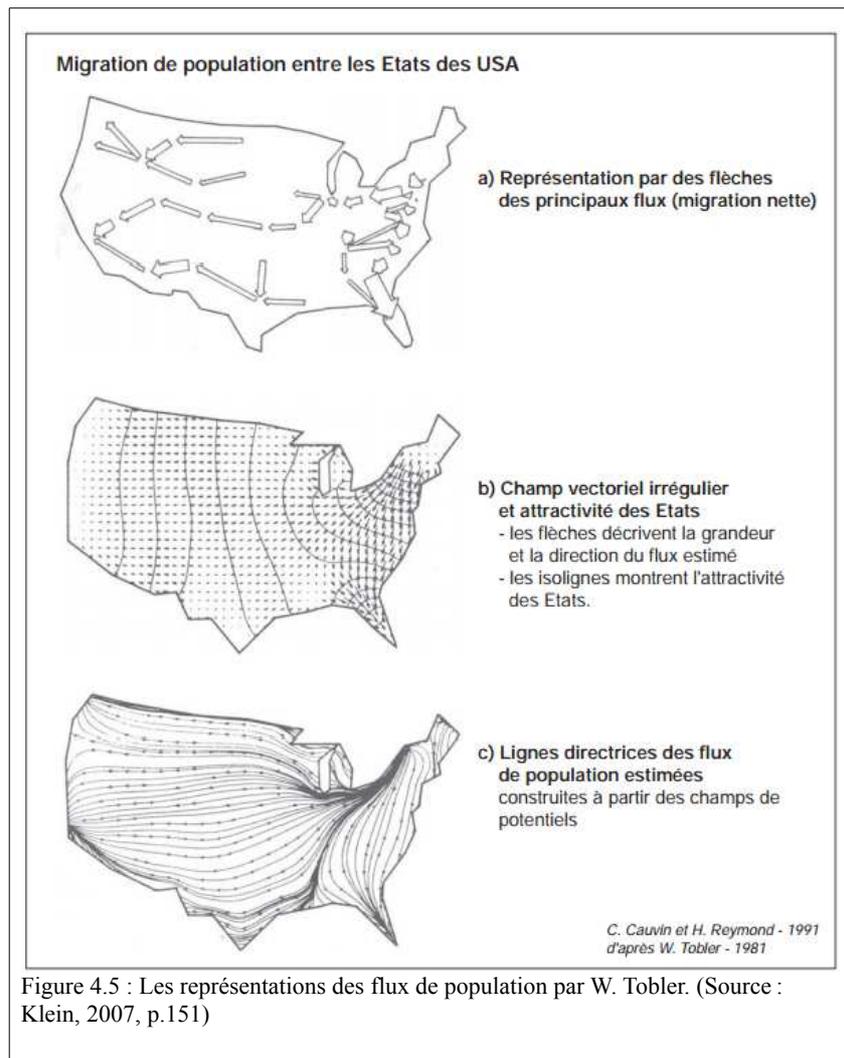
• La représentation du mouvement

Quand il s'intéressait aux migrations inter-américaines, W. Tobler (1987) a mené une réflexion très riche sur les modes de représentation des flux de migrants (Reymond et Cauvin, 1991). Confronté aux mêmes types de problèmes que ceux auxquels nous sommes confrontés avec les données de téléphonie mobile (trop grand nombre de flux, avec un écart important entre les effectifs de ces flux), il a préconisé plusieurs solutions :

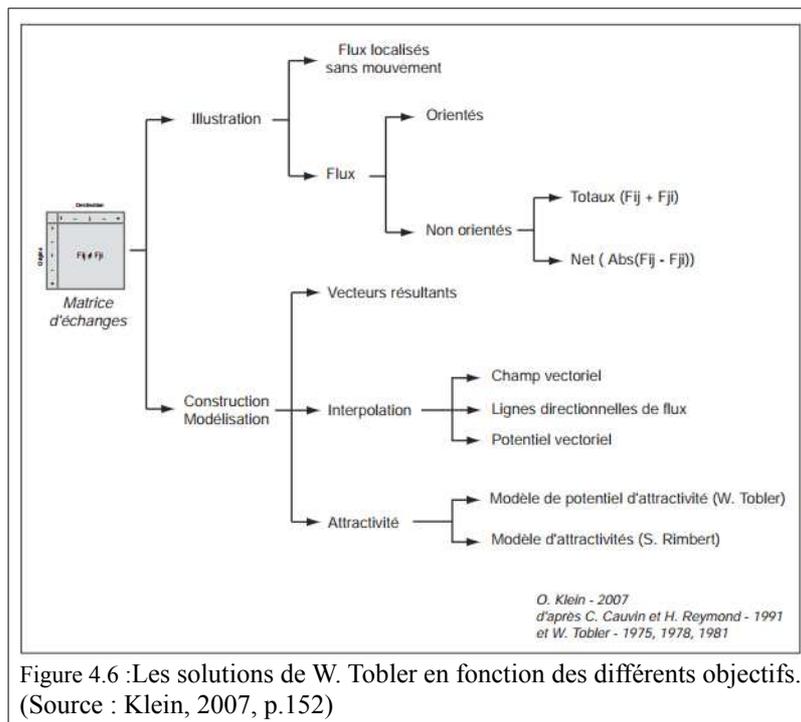
- représenter uniquement les flux les plus importants (Figure 4.5) grâce à un filtrage des données à partir d'une valeur type, comme la moyenne
- représenter les mouvements de population sous d'autres formes par exemple à partir de vecteurs moyens, d'isolignes d'attractivité, de lignes directrices de flux de population.

Ces représentations correspondent à la même réalité observée. O. Klein (Figure 4.6) remarque qu'elles n'obéissent cependant pas au même objectif. W. Tobler passe des représentations purement descriptives telles que les flux de mobilité aux modélisations de la mobilité par le moyen de transformation des données et la construction d'indicateurs spatiaux à partir de ces données brutes.

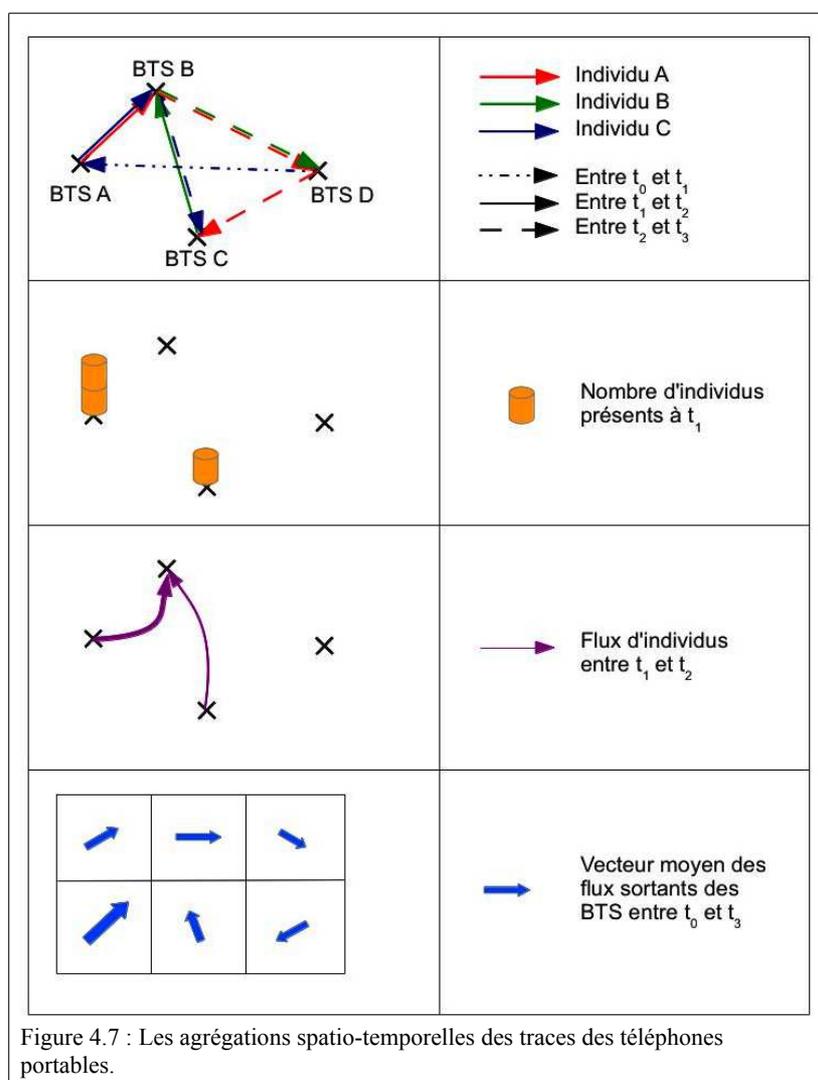
57 On trouvera des exemples des tentatives de visualisation dans les annexes p.189.



Afin de construire notre analyse, nous nous sommes appuyé sur une démarche d'analyse



spatiale exploratoire (Andrienko, 2006) et nous avons mobilisé les formes de représentations explorées par W. Tobler pour les migrations inter-états aux Etats-Unis. Les différentes représentations ont été construites, déconstruites et reconstruites au fil du processus afin de fournir une image plus claire des mobilités au sein de la région parisienne et de comprendre quels processus globaux étaient sous-jacents à ces pratiques individuelles.



Pour donner du sens aux mobilités urbaines à partir de données de téléphonie mobile, nous avons décidé de construire différents types d'objets géographiques (Figure 4.7) à partir des données de position des individus :

- des surfaces lissées calculées à partir du nombre d'utilisateurs de téléphonie mobile présents. Nous utilisons principalement une agrégation temporelle, transformant les événements inscrits dans un temps continu (la succession des positions des individus) en

événements discrets (le nombre d'individus présents pendant une plage horaire). L'information est ensuite répartie dans l'espace à l'aide d'une fonction de lissage (Grasland, 1999).

- des flux d'individus entre des stations du réseau de téléphonie mobile. Ces flux sont agrégés à partir des segments des déplacements effectués par les individus. L'agrégation est ici spatiale et temporelle, puisque un processus, le déplacement, est reconstruit à partir des traces de position. L'ensemble de ces segments constituant un graphe de flux de mobilité.
- des vecteurs moyens construits à partir de ces segments de déplacements. Ces vecteurs moyens ont pour objectif de montrer la tendance du mouvement (orientation et intensité) sur le territoire, mettant ainsi en avant le phénomène à l'échelle de la région.

Ces différents objets avaient tous pour objectif de fournir une image de la mobilité telle qu'elle peut être restituée à partir de données de téléphonie mobile.

- Un réseau dynamique de flux de mobilité

Raisonné à partir d'une matrice d'échange entre BTS et donc d'un graphe de mobilité nous a paru une voie d'exploration intéressante pour plusieurs raisons :

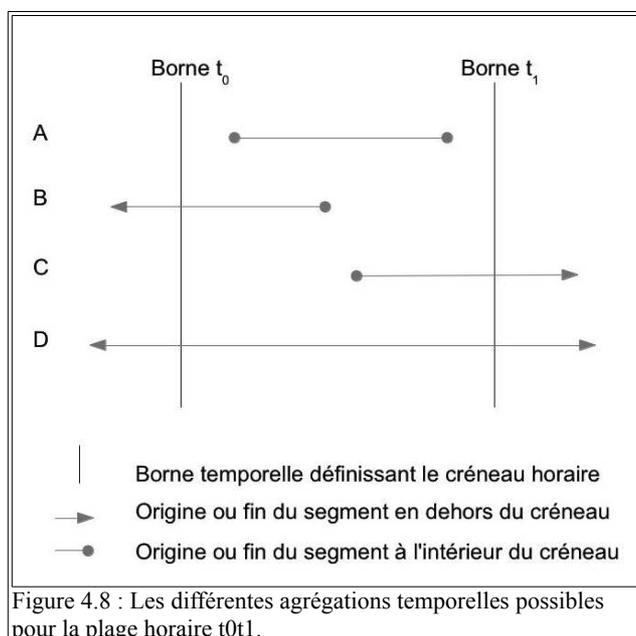
- Elle nous a permis dans un premier temps de considérer l'articulation entre individu et espace urbain au travers de cet objet hybride qu'était notre réseau de stations reliées entre elles par des flux de personnes. Rester au niveau des stations, et donc au niveau de segments de déplacements, nous a aussi permis de ne pas faire davantage d'hypothèses sur les lieux d'arrêt des individus, hypothèses qui nous auraient conduit à privilégier une approche des mobilités centrées sur les déplacements domicile-travail (nous avons déjà discuté à plusieurs reprises, la difficulté de reconstruire des mobilités sortant de cette routine, avec le jeu et le type de données dont nous disposons). Au contraire, s'attacher à définir la ville comme un espace entièrement traversé par des micro-déplacements (Banos, 2005) nous a semblé pertinent pour rendre compte de toutes ces formes de mobilité qu'on ne peut pas identifier avec des données imprécises.
- L'analyse des réseaux spatiaux est un domaine très étudié par les géographes depuis une quarantaine d'années, dans une interaction croissante avec l'engouement des physiciens pour le traitement des « grands réseaux » (Newman et alii, 2006 ; Barrat, Barthélemy et Vespignani, 2008 ; Barthélemy, 2010). A la fin des années 90, le renouveau de l'analyse des réseaux a suscité un intérêt nouveau pour ce champ interdisciplinaire : les réseaux spatiaux concernant aussi bien les réseaux de transport aérien ou maritime, les réseaux de services urbains, les réseaux de neurones et autres.

La spécificité des réseaux spatiaux est de combiner des caractéristiques topologiques liées à la structure du graphe représentant le réseau, mais aussi des caractéristiques spatiales liées à

l'organisation métrique de l'espace (localisation des nœuds et longueur des liens). Les travaux menés sur les réseaux spatiaux se concentrent notamment sur la recherche de communautés de « communautés » définies par une intensité des relations internes plus forte que celle des liaisons avec d'autres parties du réseau.

Qui plus est, le fait de disposer de données inscrites dans le temps permet de créer un réseau dynamique, évoluant au fil d'une journée, voire d'une semaine. L'organisation, la représentation de cet aspect dynamique et son analyse posent encore de véritables défis en termes d'explorations méthodologiques. Un réseau dynamique est un réseau dont certaines caractéristiques évoluent en fonction du temps (Pigné, 2008). Il s'agit soit d'une évolution des valeurs ou des attributs des nœuds et des liens, soit d'une évolution de la structure du réseau impliquant la création ou la suppression des nœuds et des liens de ce graphe.

La prise en compte de la dimension temporelle des phénomènes spatiaux nécessite de s'interroger à la fois sur la représentation du changement et sur l'agrégation temporelle des données concernant nos individus en mouvement. T. Thévenin (2010) identifie, parmi les représentations des objets spatio-temporels possibles la représentation en snapshot et la représentation composite. La représentation en snapshot, représentant une suite d'états à différents moments est la plus répandue (Cauvin et alii, 2008). Les représentations du nombre d'individus par tranche horaire correspondent à ce type d'agrégation temporelle, les différents événements étant agrégés pour produire une information discrète dans l'espace et dans le temps. Les autres types de représentations utilisées, le graphe de flux de mobilité ou les vecteurs moyens relèvent davantage de la deuxième forme de représentation spatio-temporelle présentée par T. Thévenin : la représentation composite. La représentation composite ne représente pas seulement des états successifs mais des processus (Langran et Chrisman, 1988). Ainsi, les graphes de flux de mobilité sont des agrégations résultant d'une accumulation de changements de position des individus.

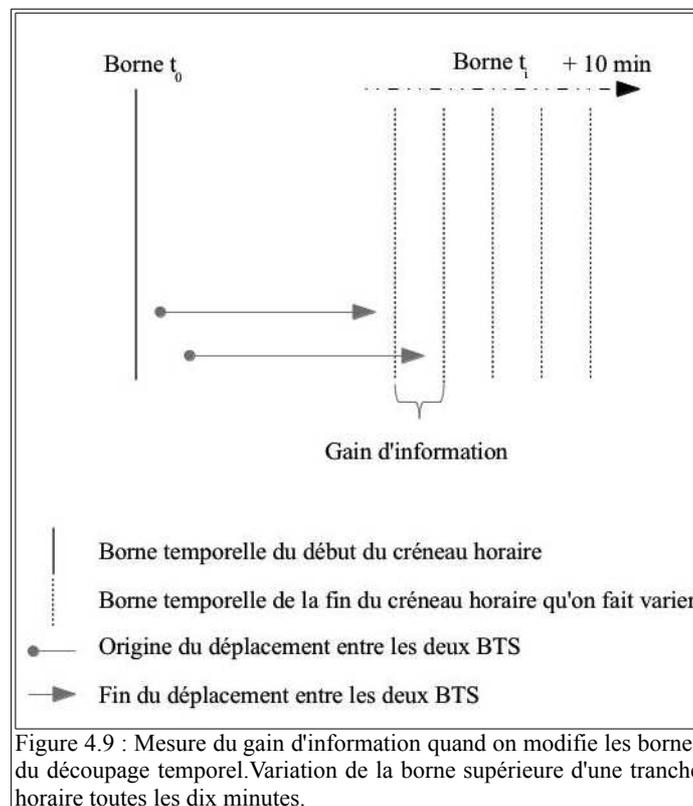


Dans le cadre de cette thèse, nous avons opté pour une série de représentations statiques en découpant une journée en plusieurs créneaux horaires. La définition d'un créneau horaire ne suffit pas pour agréger les déplacements des individus. Certains déplacements entre BTS peuvent chevaucher le créneau considéré (Figure 4.8). Leur prise en compte modifie l'interprétation du déplacement considéré.

La figure 4.8 explicite les différents cas possibles quand on s'intéresse aux déplacements au sein d'un créneau horaire.

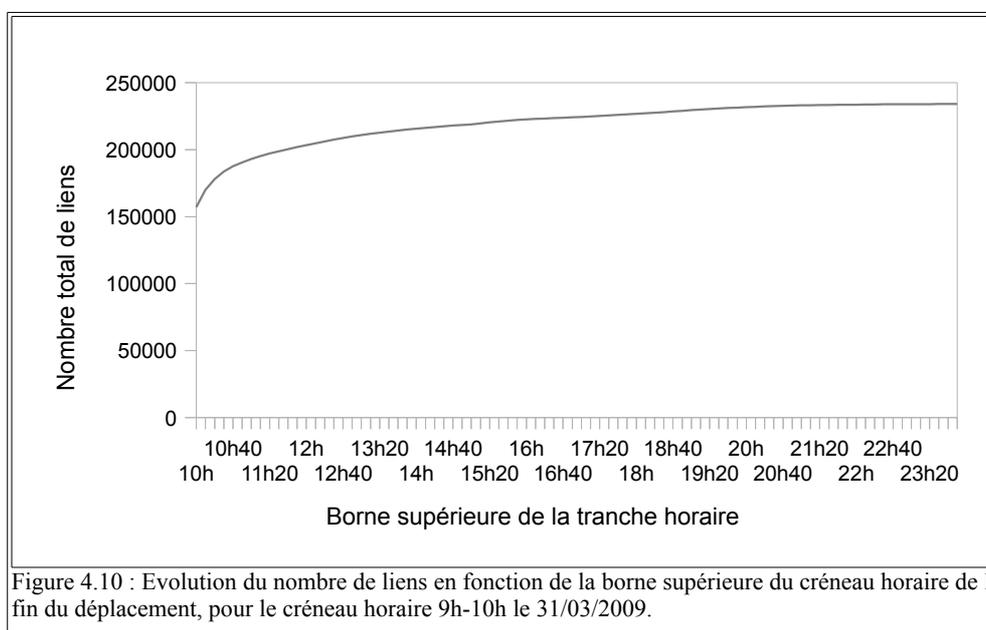
Dans le premier cas, on sélectionne uniquement les déplacements qui commencent et se terminent au sein de la tranche horaire considérée (cas A). Dans les autres cas, la sélection des déplacements est plus large, il s'agit de considérer non seulement les déplacements qui commencent et finissent au sein de la plage (cas A de la figure 4.8), mais aussi ceux qui ont commencé avant et se terminent après la plage horaire (cas D), ceux qui ont commencé avant et se terminent pendant (cas B) et enfin ceux qui ont commencé pendant la plage horaire et se sont terminés après la fin de la plage horaire (cas C). Les quatre cas permettent d'englober tous les déplacements qui sont en cours pendant le créneau horaire considéré.

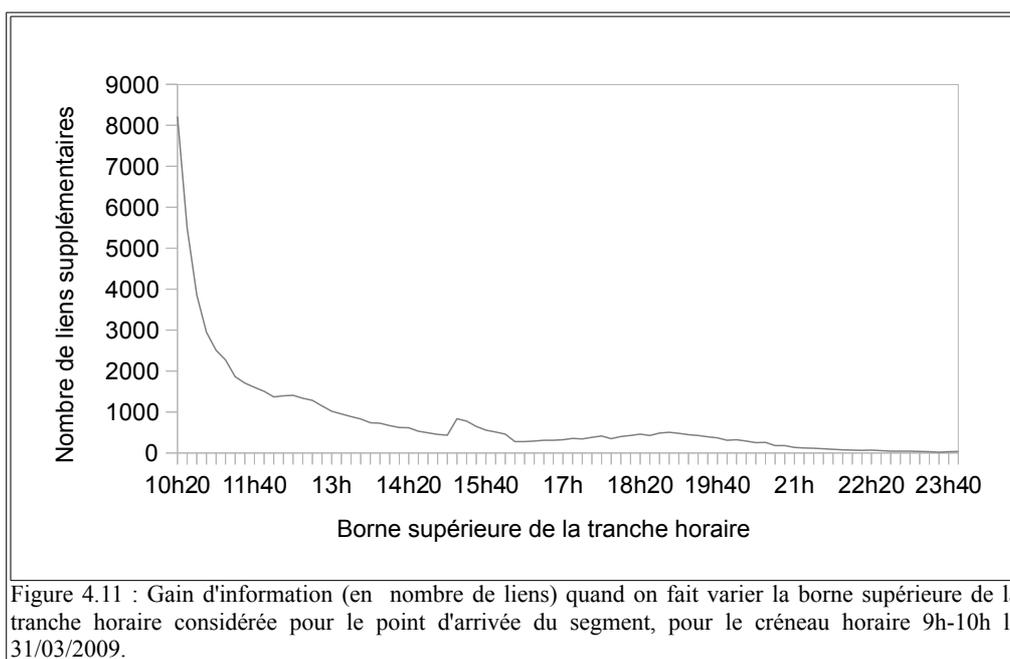
Une autre solution de découpage temporel, serait de considérer non plus les déplacements, mais les émissions ou les réceptions d'individus en considérant tous les déplacements qui commencent pendant la tranche horaire (cas C de la figure 4.8) ou tous ceux qui se terminent pendant cette tranche (cas B de la figure 4.8).



Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés aux déplacements à l'intérieur d'une tranche horaire. Toutefois, ne prendre en compte que les segments de déplacement commençant et finissant à l'intérieur du créneau horaire (cas A de la Figure 4.8), crée une perte d'information : les déplacements à cheval sur ces bornes ne sont pas comptabilisés. Pour tenter de trouver des bornes « optimales », nous avons testé différents découpages ayant une délimitation fixe pour le début du déplacement qui doit avoir lieu à l'intérieur du créneau horaire et une délimitation variable pour la fin du déplacement qui peut avoir lieu dans le créneau horaire (cas A de la figure 4.8) ou plus tard (cas C de la figure 4.8). Nous faisons varier la borne de la fin du déplacement toute les dix minutes. Les déplacements comptabilisés ont leur début dans la tranche originelle (9h-10h) et leur fin dans la tranche glissante (9h-10h10, 10h20, 10h30 ...).

Dans cet exemple du 31 mars 2009 pour le créneau horaire de 9h à 10h, le nombre de stations (BTS) concernées par chacune des tranches horaires ainsi définies varie peu (de 3111 à 3121). Le nombre de liens existants entre deux stations (BTS) varie lui davantage, notamment dans la première heure (Figures 4.10 et 4.11). Les figures 4.10 et 4.11 représentent respectivement pour la figure 4.10 le nombre total de liens observés quand on fait varier la borne supérieure du créneau horaire pour déterminer la fin des déplacements pris en compte et la figure 4.11 représente le gain d'information (en termes de nombres de liens) entre un créneau horaire et celui d'avant.





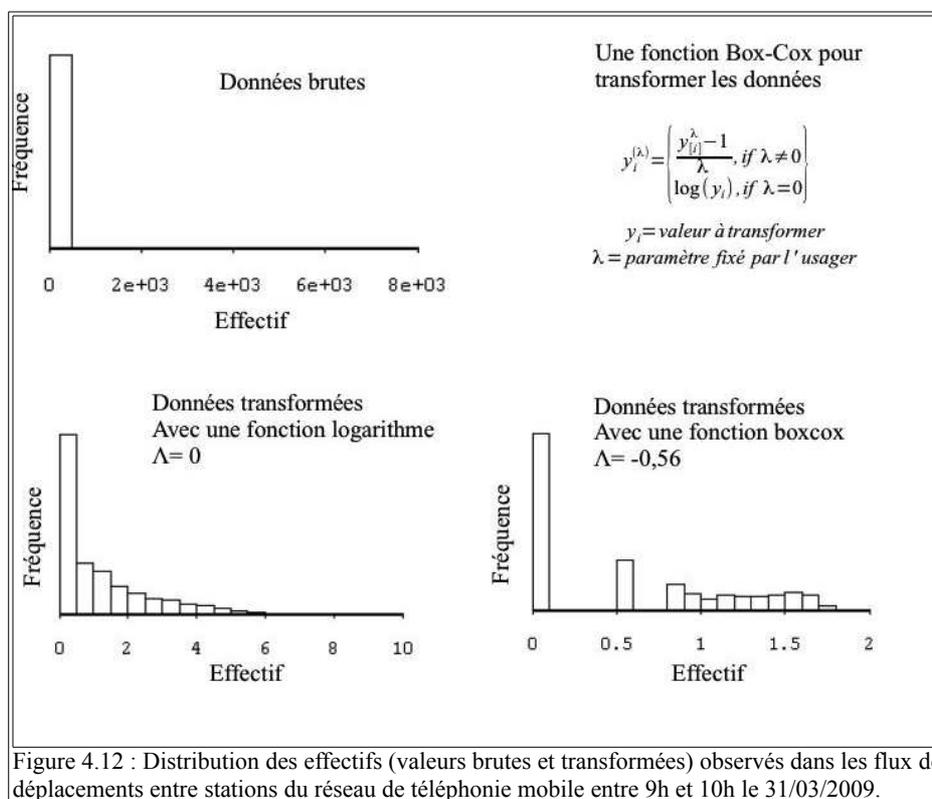
Le nombre de liens qui est de 157 000 quand on prend 10h comme borne supérieure, connaît une croissance forte jusqu'à 10h30 et son évolution stagne ensuite progressivement (Figure 4.10) :

- quand la borne passe de 10h à 10h10, le nombre de liens supplémentaires est de 12 800
- de 10h10 à 10h20, ce sont 8000 liens qui sont gagnés
- de 10h20 à 10h30, 5500 liens nouveaux apparaissent.
- Quand la borne est à 11h, le nombre de liens total est de 193 000, et le gain a été de 36 000 liens, soit 20 % du nombre total de liens observé quand la tranche horaire est délimitée par les bornes 9h et 10h.

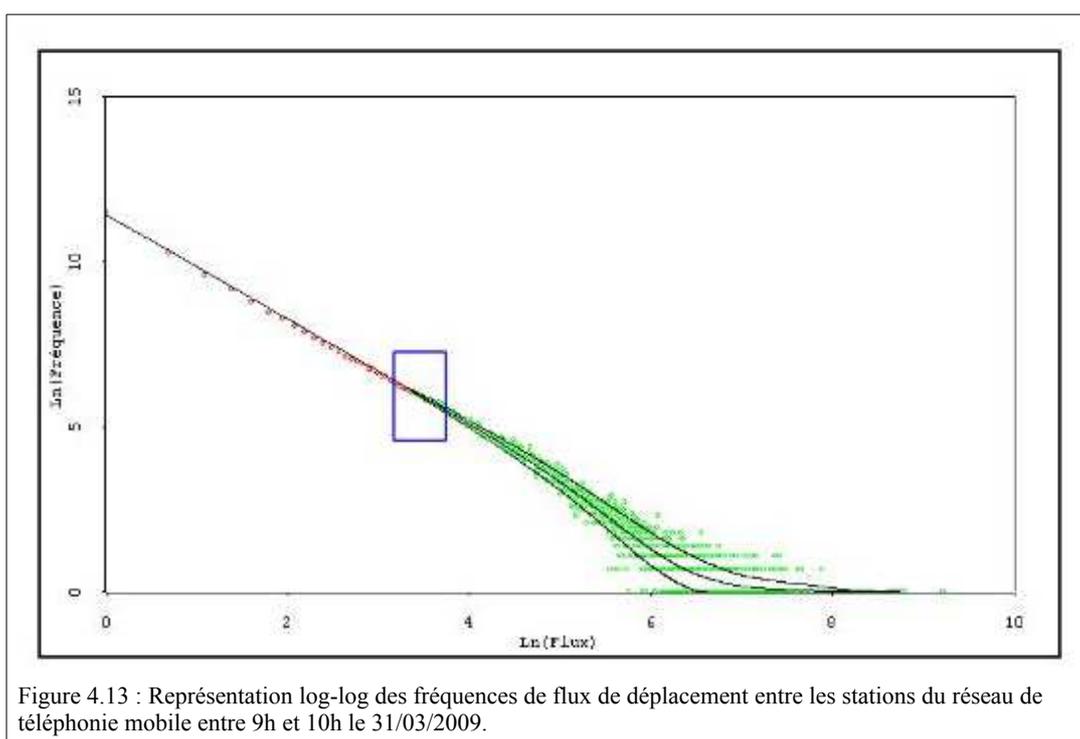
Après la première heure, la pente de la courbe représentant le gain d'information s'infléchit fortement (Figure 4.11). Nous pouvons considérer que fixer la borne supérieure à +1h donne une bonne estimation des déplacements de cette tranche horaire. Cette tranche horaire comprend ainsi les déplacements qui débordent sur l'heure d'après, et ainsi de suite pour les autres tranches horaires.

- Transformer les données pour faciliter la représentation

La distribution des effectifs des déplacements entre stations du réseau de téléphonie mobile montre l'importance des petits effectifs (Figure 4.12).



La distribution des effectifs bruts mesurés entre les stations du réseau de téléphonie mobile est dominée par les valeurs proches de 0. Même quand les données sont transformées à l'aide d'une fonction Box-Cox (Figure 4.12), l'importance des faibles valeurs empêche d'avoir une forme de distribution exploitable.



Le passage aux fréquences (Figure 4.13) permet d'identifier deux sous-populations : une sous-population en rouge qui suit une fonction de puissance décroissante et une autre sous-population en vert donc le comportement est plus aléatoire.

L'existence de ces comportements différents montre à quel point il est difficile de choisir une forme de représentation pour les flux de déplacements. L'hétérogénéité de la distribution nous conduit à nous interroger sur la pertinence de conserver toutes les valeurs (Banos, 2001).

Une régression LOWESS (*Locally weighted regression and smoothing scatter plots*) appliquée à cette distribution permet de repérer une inflation de la variance à partir des flux dont l'effectif est supérieur à 30 (cadre bleu de la figure 4.13). Le LOWESS est une régression non paramétrique locale. Le nuage de points est découpé en différents voisinages définis par l'utilisateur. Chacun de ces voisinages fait l'objet d'un ajustement local (Banos, 2001). Conformément aux solutions proposées par W. Tobler, nous utilisons cette valeur pour filtrer les flux.

La figure 4.14 montre la distribution des flux dont l'effectif est supérieur à 30 dans le cadre de deux transformations : avec les effectifs transformés par une fonction Box-Cox où $\lambda = -0,56$ et avec les effectifs transformés par cette même fonction, où $\lambda = 0$ (et dans ce cas, la fonction Box-Cox équivaut à un logarithme).

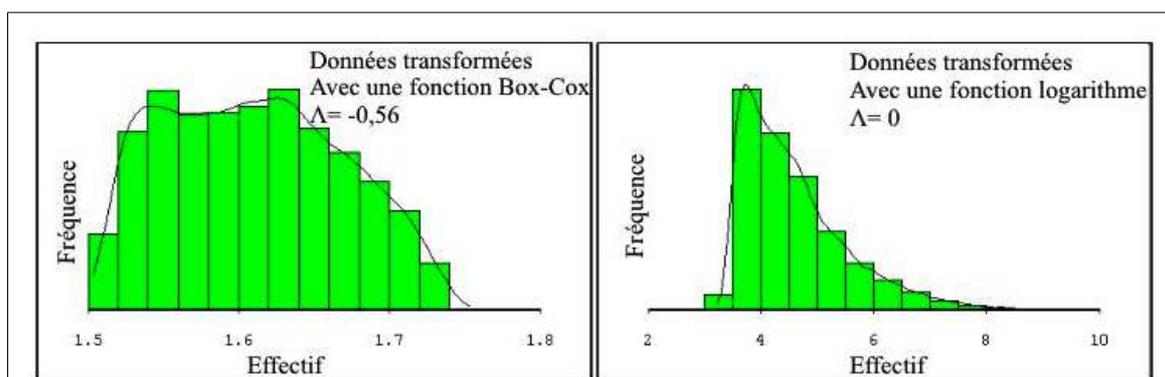
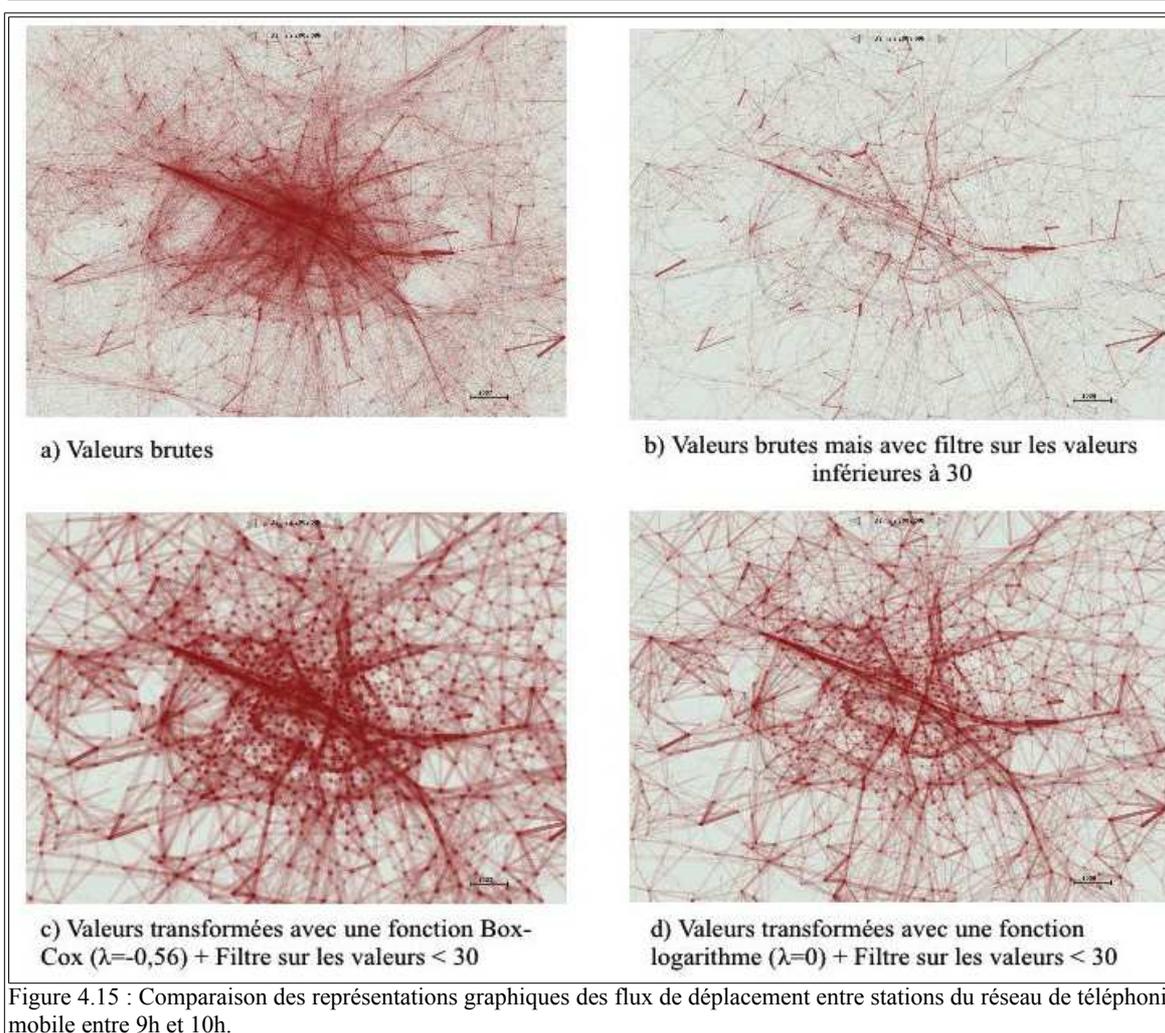


Figure 4.14 : Distribution des effectifs (valeurs transformées) supérieurs à 30, observés dans les flux de déplacements entre stations du réseau de téléphonie mobile entre 9h et 10h le 31/03/2009.



La distribution une fois les valeurs transformées à l'aide d'une fonction Box-Cox ($\lambda=-0,56$) tend vers une distribution normale des valeurs. Toutefois la représentation cartographique associée (Figure 4.15.c) n'est pas satisfaisante : les flux sont trop lissés et il est impossible de les différencier visuellement. Une valeur de lambda moindre permet de conserver la hiérarchie intrinsèque de la distribution sous-jacente. Ainsi, une valeur de lambda égale à 0 (correspondant à une fonction logarithmique) permet d'obtenir un meilleur résultat. Les flux

les plus importants, révélés par les valeurs brutes filtrées sont toujours présents, mais les flux de valeur inférieure, bien plus nombreux, sont également moins différenciés. Ce couplage « flux bruts filtrés/ flux filtrés transformés en log » permet à notre sens d'obtenir les meilleurs résultats en terme de représentation cartographique et c'est la solution que nous retiendrons dans la suite de ce chapitre.

- La construction des champs de vecteurs moyens

Le réseau constitué à partir des flux de mobilité fournit une image descriptive des flux et de l'intensité des déplacements au sein des différentes parties de la région. Afin de donner une image davantage synthétique de cette information, nous avons décidé de construire des vecteurs moyens à partir de chaque station du réseau de téléphonie mobile et des flux entrants et sortants de chacune de ces stations. Pour construire les vecteurs moyens sortants, nous prenons pour chaque nœud du graphe (chaque BTS) ayant des coordonnées x_0, y_0 , l'ensemble n des liens partant de ce nœud, et ayant pour coordonnées, x_i, y_i (figure 4.16).

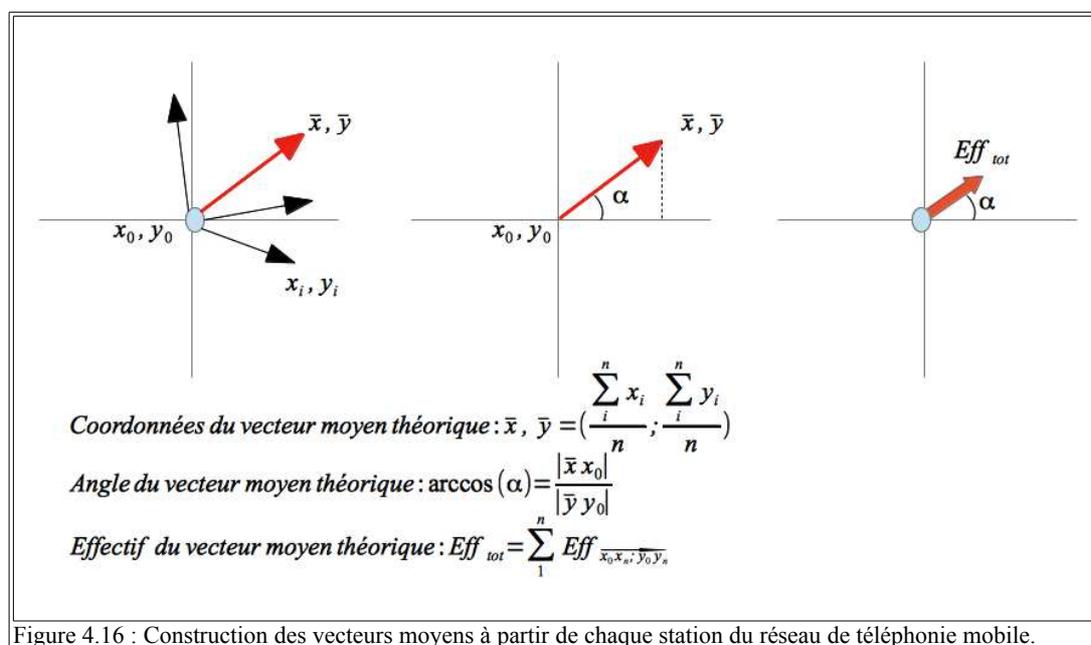


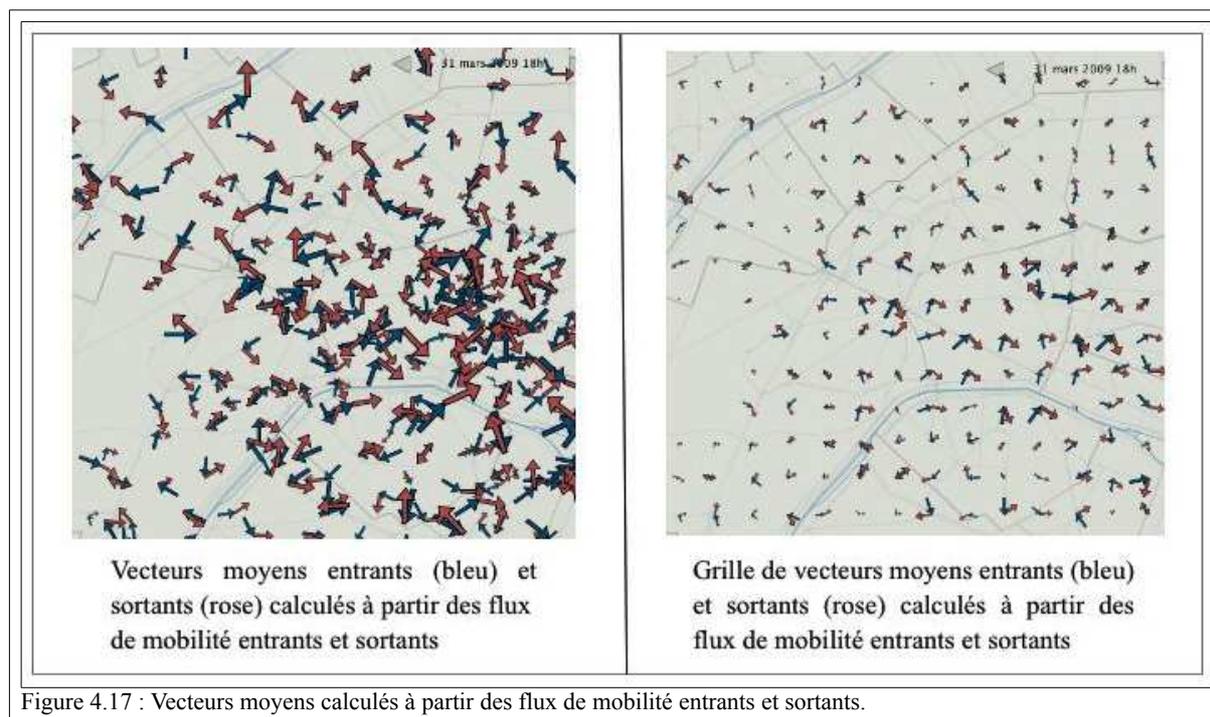
Figure 4.16 : Construction des vecteurs moyens à partir de chaque station du réseau de téléphonie mobile.

La représentation graphique conserve deux paramètres principaux :

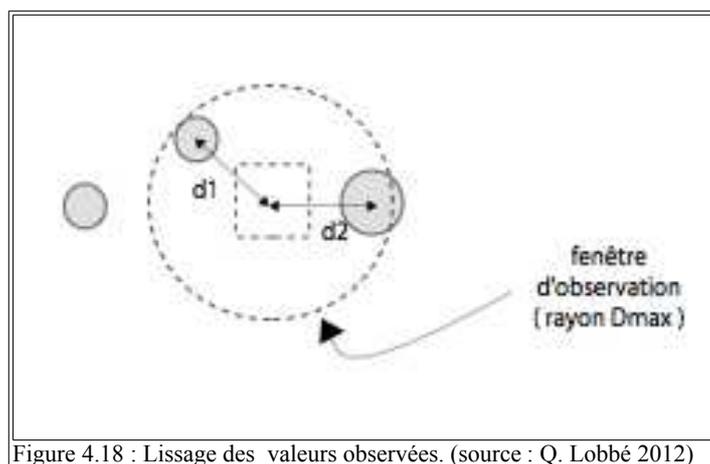
- l'effectif du vecteur moyen, calculé à partir de la moyenne des liens partant de ce vecteur.
- l'orientation du vecteur moyen, calculée à partir des coordonnées de l'extrémité du vecteur moyen théorique x_i, y_i , et de l'angle α que ce dernier fait avec le plan (figure 4.16).

Ces deux critères permettent de donner une image des tendances du mouvement à l'échelle du territoire régional. Les flèches orientées dessinent alors des orientations principales qui montrent comment les mobilités individuelles sont organisées au sein de et par l'espace

géographique.



Les stations de base du réseau de téléphonie mobile à partir desquelles sont calculées les vecteurs moyens étant réparties de manière non homogène sur le territoire (Chapitre 3, p.85), la représentation des vecteurs moyens est difficile à lire (Figure 4.17). Les vecteurs sont trop nombreux dans le centre de Paris et se surimposent les uns aux autres (Figure 4.17).



Afin d'affecter des vecteurs moyens à l'ensemble du territoire en fonction d'une grille (Figure 4.18), nous avons utilisé une fonction de lissage spatial.

Le lissage spatial affecte à chaque cellule de la grille des valeurs en faisant une moyenne pondérée par la distance au centre de la grille des valeurs affectées à chaque point. La

fonction de lissage utilisée ici est une fonction prenant du type : $p = \left[1 - \left(\frac{d}{D_{max}} \right)^2 \right]^2$

avec p: la valeur à lisser

d : la distance entre la valeur et le centre de la fenêtre d'observation

D_{max} : le rayon de la fenêtre d'observation

Par ailleurs, le lissage spatial peut aussi être utilisé pour fournir des représentations continues de l'occupation de l'espace par les usagers actifs sur le réseau de téléphonie mobile, actifs dans le sens où le réseau a enregistré leur présence (voir Chapitre 5, p.161).

Une fois cet outil d'analyse exploratoire développé dans le cadre du stage de Quentin Lobbé, il nous a été possible d'explorer la mobilité ordinaire en Ile-de-France. L'analyse exploratoire menée sur les données de téléphonie mobile a, en effet, permis de montrer que malgré les imperfections propres aux données, les mobilités individuelles étaient organisées au sein de la région Ile-de-France, organisées par des rythmes sociaux et organisées par la structure de la région Ile-de-France. Ce résultat montre l'intérêt de ces données pour la compréhension des mobilités dans une région comme l'Ile-de-France.

IV.2. Les rythmes des pratiques quotidiennes

Les pratiques urbaines sont par essence des pratiques rythmées, par les rythmes sociaux, mais aussi par les horaires d'ouverture, de fermeture des infrastructures et des services. Analyser les mobilités en utilisant des données issues d'une autre pratique revient d'abord à s'interroger sur la réalité de ces rythmes et leur inscription dans les usages.

IV.2.1. Des rythmes sociaux qui organisent les pratiques des usagers

Les activités humaines sont fortement rythmées à différentes échelles de temps. Parmi ces activités, les communications tout comme les mobilités sont des activités qui elles aussi obéissent à des régularités temporelles.

La distribution temporelle des communications mobiles pendant une période d'un mois⁵⁸ comme le mois de décembre 2009, montre bien l'inscription des communications mobiles au sein des rythmes sociaux (Figure 4.19). Les communications mobiles sont moins importantes en fin de semaine qu'en cours de semaine, et à partir du 19 décembre, date du début des vacances scolaires cette année là, l'intensité des communications diminue. Elle diminue d'autant plus la deuxième semaine des vacances scolaires et le jour de Noël, qui est un vendredi (et si l'on remarque bien qu'au cours des trois semaines précédentes, au contraire, le

58 Il s'agit d'un autre jeu de données agrégé auquel nous avons eu accès : l'ensemble des appels émis et reçus en Ile-de-France pendant le mois de décembre 2009.

vendredi était le jour où ces communications étaient les plus importantes).

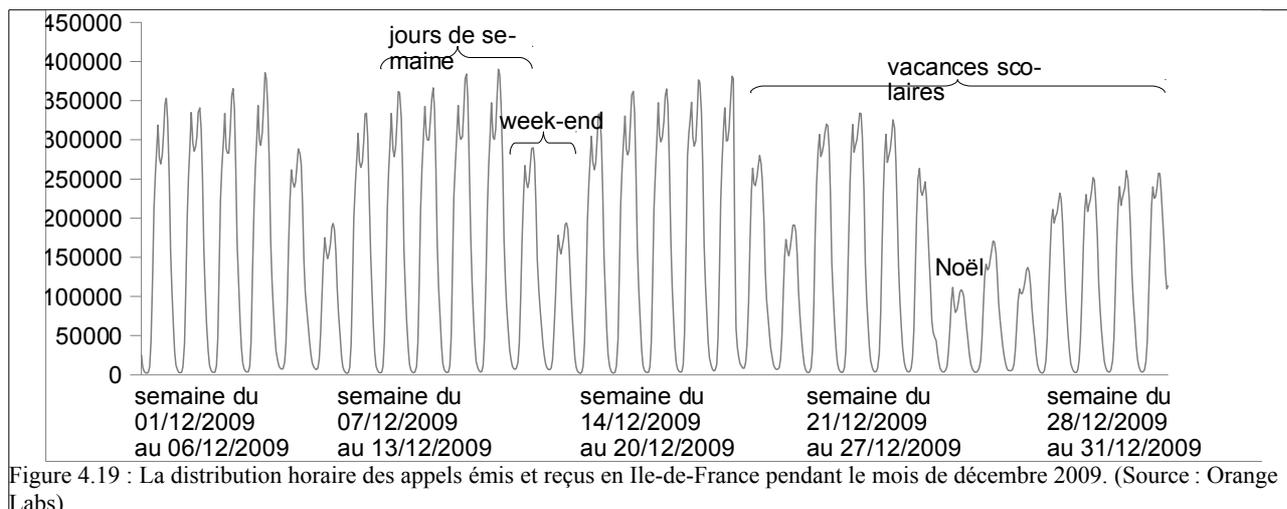


Figure 4.19 : La distribution horaire des appels émis et reçus en Ile-de-France pendant le mois de décembre 2009. (Source : Orange Labs)

Les pratiques de communication mobile s'inscrivent dans un cycle hebdomadaire, mais peuvent être perturbées par des événements (jour férié associé à une fête religieuse ou de famille comme pour le jour de Noël) ou par d'autres rythmes comme ceux du calendrier scolaire. A l'échelle d'une journée (Figure 4.20), cette organisation cyclique du temps des communications mobiles transparait aussi.

Mais, si l'on compare les deux pratiques que sont la pratique de communication et celle de mobilité, il existe un léger décalage entre les rythmes de communication mobile et les rythmes de présence sur le réseau de téléphonie mobile. La figure 4.20 montre la répartition du nombre d'appels émis et reçus au fil de la journée, tandis que la figure 4.21 montre la répartition du nombre d'utilisateurs différents enregistrés sur le réseau de téléphonie mobile à chaque heure. Les formes des deux courbes sont similaires, mais on note que dans la figure 4.21, le nombre d'utilisateurs présents sur le réseau de téléphonie mobile, et donc présents sur le territoire francilien connaît un premier pic à 8h, tandis que le nombre de communications connaît son premier pic à 12h (Figure 4.20). Dans le cas des utilisateurs présents sur le réseau de téléphonie Orange, on observe un long palier de 9h à 16h (Figure 4.21), tandis que les communications mobiles ne connaissent un palier qu'entre 14h et 17h (Figure 4.20).

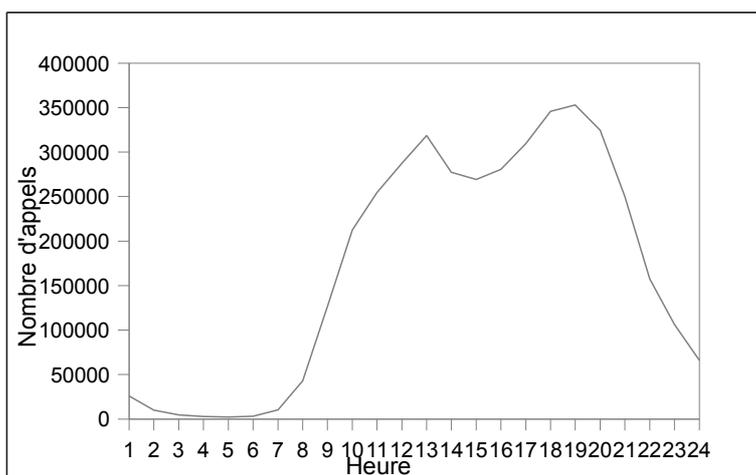


Figure 4.20 : Répartition horaire des appels émis et reçus au cours d'une journée, le 1er décembre 2009. (Source : Orange Labs)

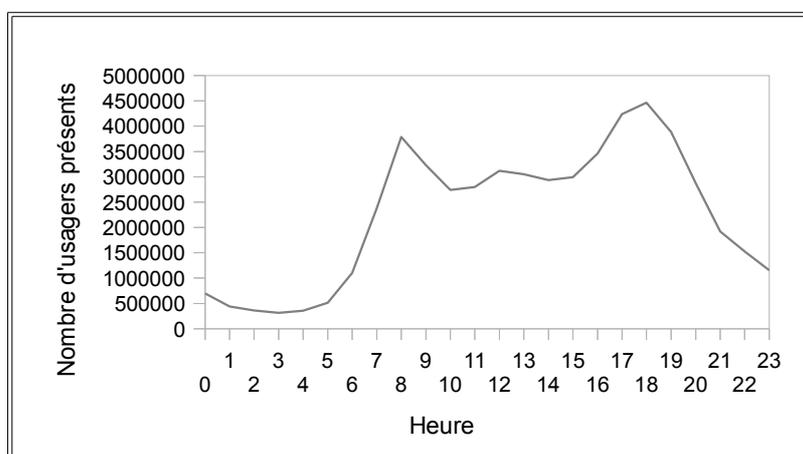


Figure 4.21 : Répartition horaire du nombre d'utilisateurs enregistrés sur le réseau de téléphonie mobile Orange Labs le 31 mars 2009. (Source : Orange Labs)

Ces différences peuvent avoir plusieurs explications, notamment dues à la différence fondamentale entre ces deux types de données qui sont d'une part, des données relevant uniquement le nombre de communication (donc le nombre d'enregistrements liés à des communications) et d'autre part les données relevant de la présence d'un usager dans le réseau de téléphonie mobile, présence relevée quand il communique vocalement, par SMS, mais aussi en dehors de toute communication (changement de *location area*, mise à jour du réseau etc...).

Les pics de présence des usagers sur le réseau de téléphonie mobile peuvent correspondre à des situations de mobilité (créant ainsi des enregistrements sur le réseau de téléphonie mobile via les événements comme les changements de *location area*). On peut en conclure que les deux activités de communication et de mobilité sont toutes les deux rythmées, mais elles n'obéissent pas exactement aux mêmes rythmes.

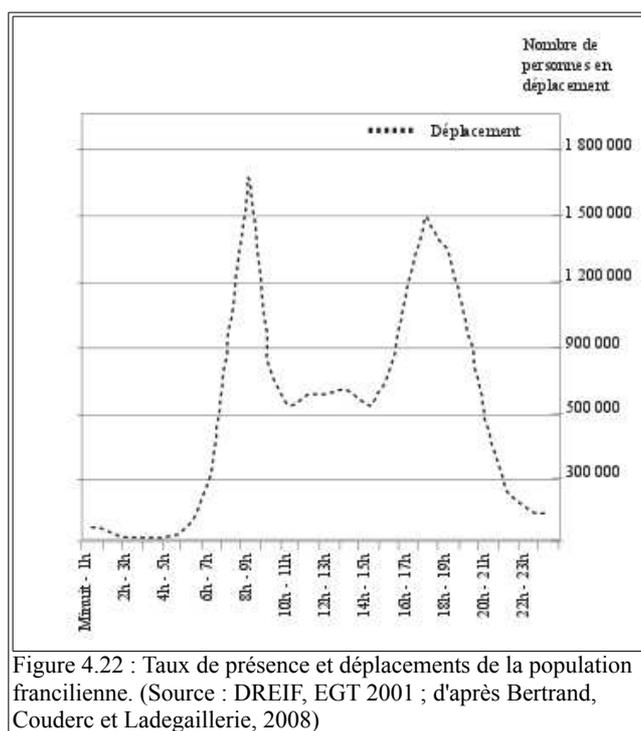


Figure 4.22 : Taux de présence et déplacements de la population francilienne. (Source : DREIF, EGT 2001 ; d'après Bertrand, Couderc et Ladegaillerie, 2008)

L'hypothèse selon laquelle les pics de présence observés sur le réseau de téléphonie mobile correspondent à des situations de mobilité est confortée par la comparaison de la figure 4.21 obtenue à partir des données de téléphonie mobile et la figure 4.22 obtenue à partir du dénombrement des individus en déplacement d'après l'enquête globale transports de 2001. Il existe une similitude entre les deux pics horaires du matin (aux alentours de 8h) et de l'après midi (aux alentours de 18h).

Cela nous amène donc à penser que les individus sont plus « présents » sur le réseau de téléphonie mobile quand ils sont en déplacement. Pendant les autres tranches horaires, ils n'en sont pas moins « présents » dans l'espace urbain, ils sont juste moins représentés au sein du réseau de téléphonie mobile. Cette distinction pose encore une fois un problème fondamental, celui de savoir ce qui est réellement mesuré à partir de données de téléphonie mobile : la présence sur le réseau semble liée davantage au déplacement. Certains déplacements physiques engendrent un événement sur le réseau de téléphonie mobile (et donc une trace) et qui plus est, le temps consacré aux déplacements est aussi un temps « mort » où le téléphone portable peut être utilisé pour attendre ou pour se coordonner.

Les données de téléphonie mobile sont donc particulièrement bien adaptées pour mesurer les déplacements en cours.

IV.2.2. La “banalité” des déplacements quotidiens

Les données de téléphonie mobile révèlent l'existence de rythmes quotidiens. Ces rythmes correspondent à la journée de travail. Ils s'inscrivent aussi au sein de l'espace urbain. Ainsi, une représentation simplifiée du mouvement telle que la représentation par des champs de vecteurs, permet de donner une image précise de ces "forces" qui organisent les mobilités.

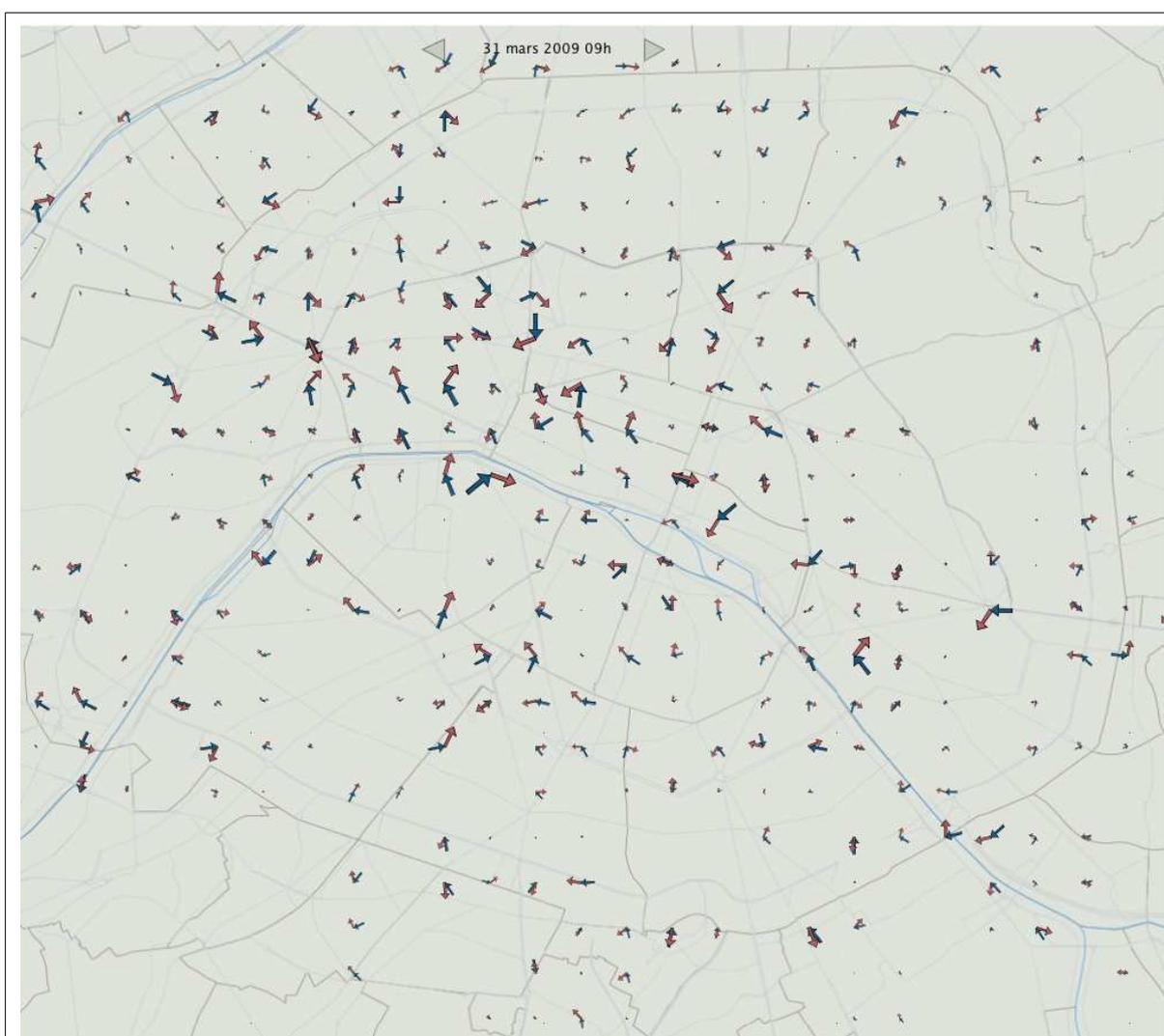
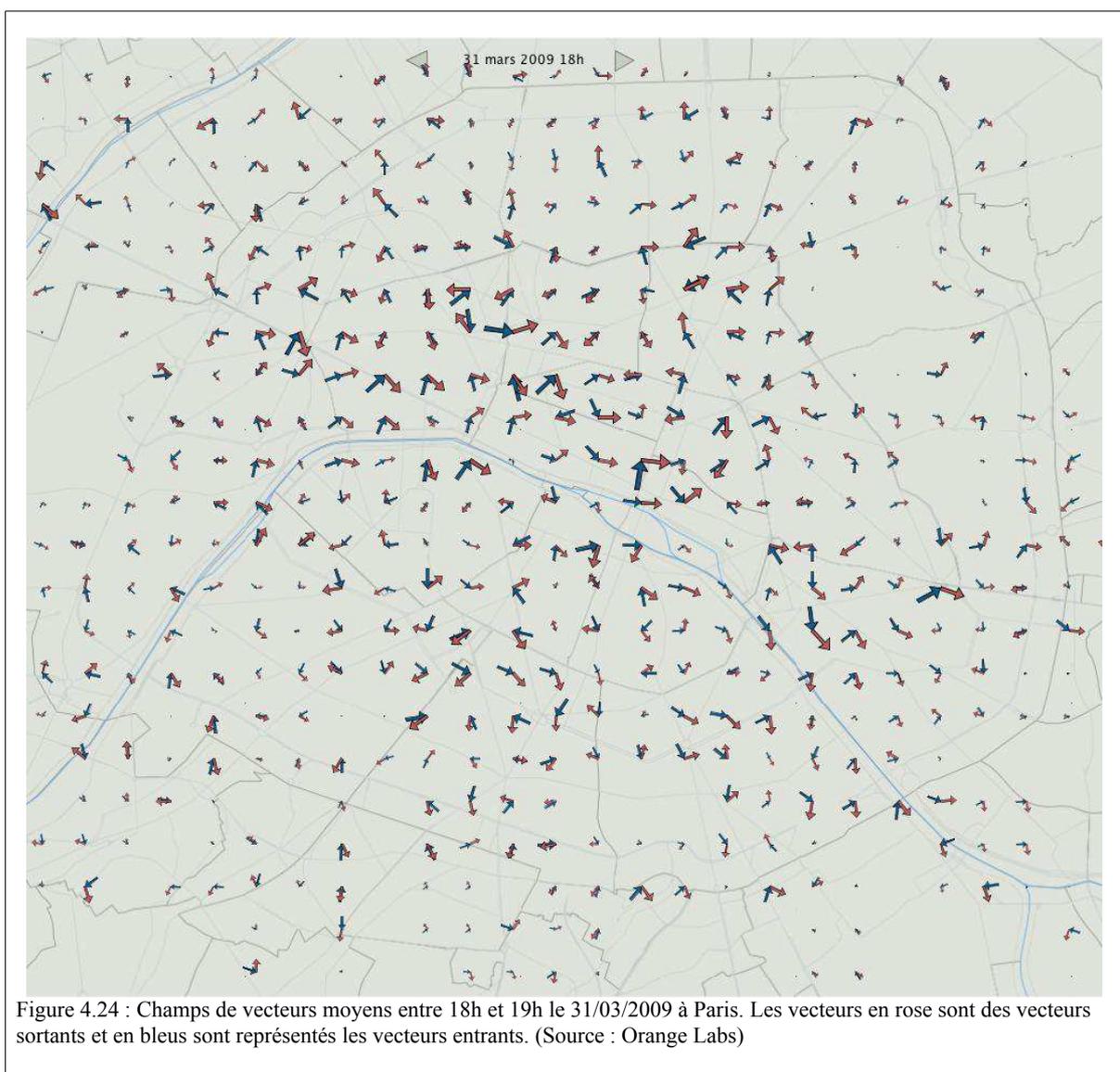


Figure 4.23 : Champs de vecteurs moyens entre 9h et 10h le 31/03/2009 à Paris. Les vecteurs en rose sont des vecteurs sortants et en bleus sont représentés les vecteurs entrants. (Source : Orange Labs)

L'observation des figures 4.23 et 4.24 révèle des « forces » centrifuges le matin et centripètes en soirée. Dans la figure 4.23, les flux convergent notamment vers l'ouest parisien, tandis que dans la figure 4.24, les flux s'éloignent de cet ouest parisien, notamment en suivant l'axe de la Seine.



Cette représentation générale des mouvements de population à ces deux moments de la journée montre la « banalité » des déplacements quotidiens, fortement conditionnés par les horaires et les lieux de domicile et de travail. En dépit de la grande variabilité des pratiques individuelles, et de la diversité des motifs de déplacement, les centralités liées au lieu de travail continuent d'organiser de manière importante les déplacements de population à l'échelle parisienne. Ce sont les pôles d'emploi de l'ouest parisien qui attirent le plus les individus au matin et à l'inverse, le soir des forces de dispersion s'articulent autour de la Seine (et des axes de transport, métro ou RER qui la longent) renvoient ces flux d'individus dans les quartiers résidentiels.

La représentation des vecteurs moyens à différents moments de la journée montre cette

convergence des pratiques individuelles à ces moments phares de la journée que sont le matin et la soirée.

IV.3. Les centralités urbaines fonctionnelles

Les centralités (voir chapitre 2, p.70) urbaines fonctionnelles sont aussi marquées par les rythmes urbains. Les centralités fonctionnelles organisent le territoire car en raison de leur attractivité, c'est vers elles que convergent les flux de population.

La visualisation des flux de déplacements entre stations du réseau de téléphonie mobile, permet de faire apparaître l'organisation urbaine à la fois cause et conséquence de ces déplacements. Ainsi, en fonction des heures de la journée, les centralités de l'agglomération parisienne ressortent nettement de la visualisation des flux de déplacement.

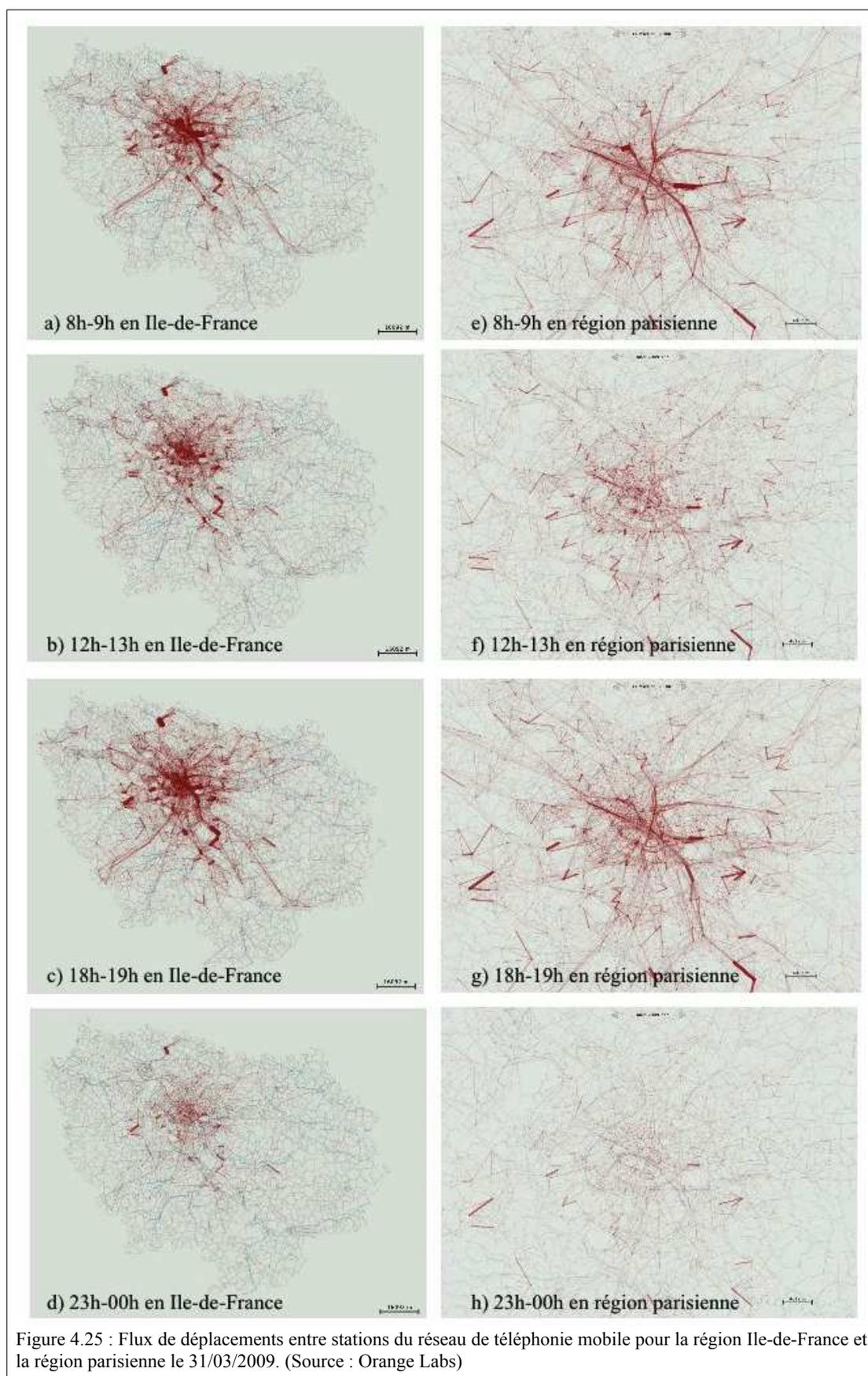
A l'inverse des centralités polarisant les individus sur des dizaines, voire des centaines de kilomètres, il existe aussi au sein de l'agglomération parisienne des logiques de proximité (Chapitre 2, p.58), tendant à renforcer le poids de certains centres locaux. Ces logiques de proximité correspondent à des choix de modes de transport, mais aussi à des logiques d'organisation locale.

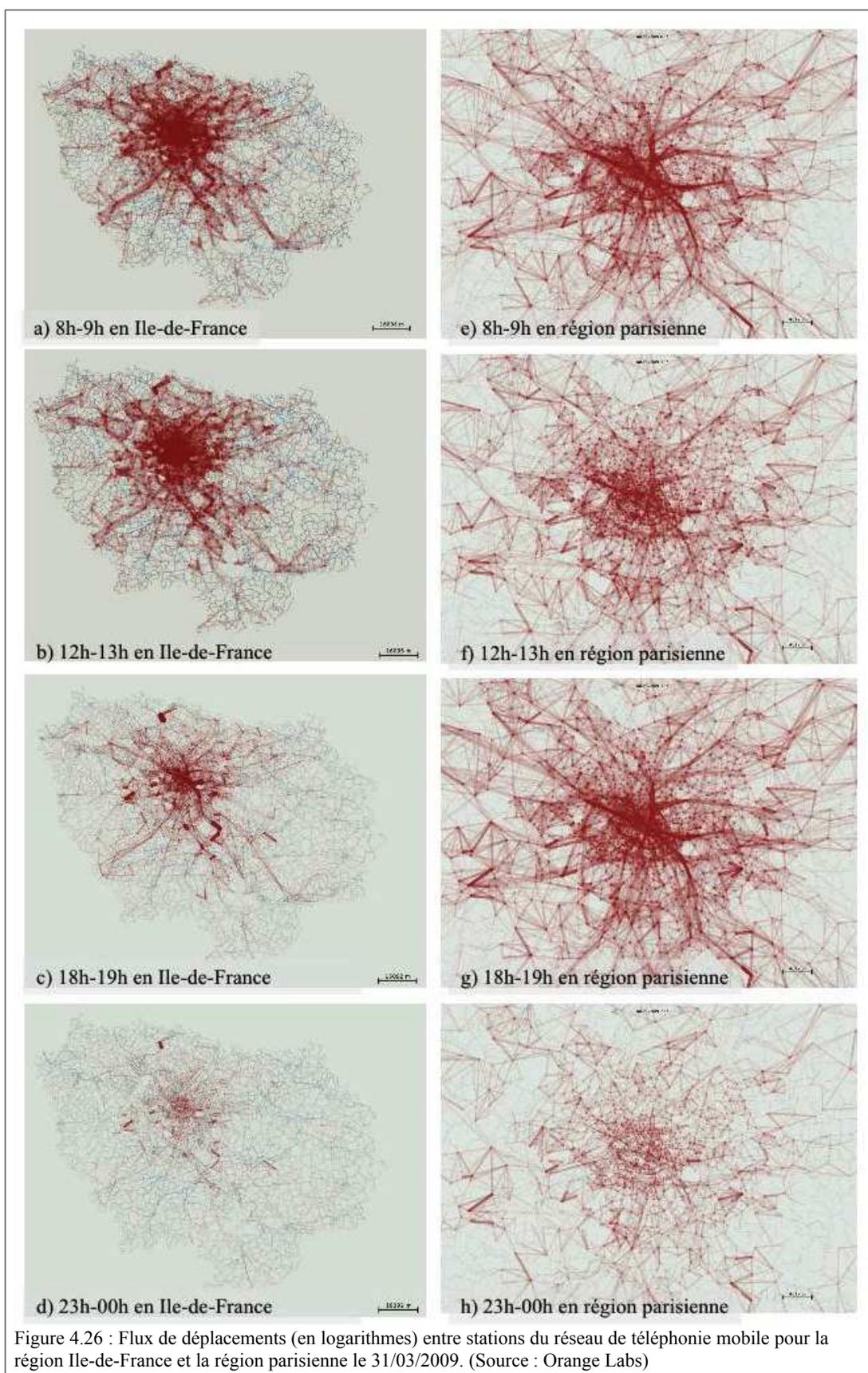
IV.3.1. Les « centres » d'attraction

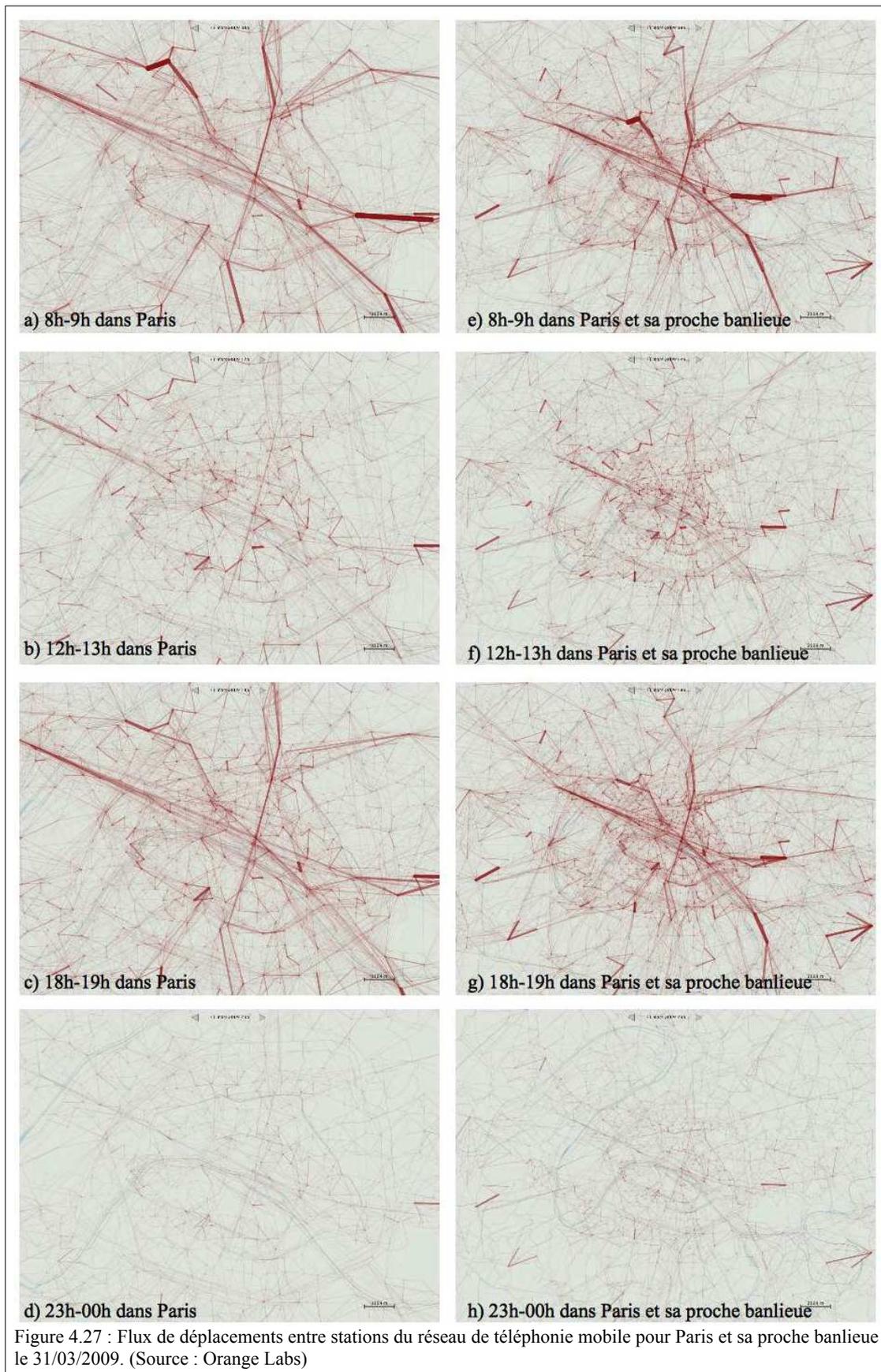
L'organisation régionale est une organisation fortement centralisée. Les figures 4.25, 4.26, 4.27 et 4.28 montrent les déplacements de personnes entre stations du réseau de téléphonie mobile au sein de la région Ile-de-France à quatre niveaux spatiaux différents, pendant quatre tranches horaires :

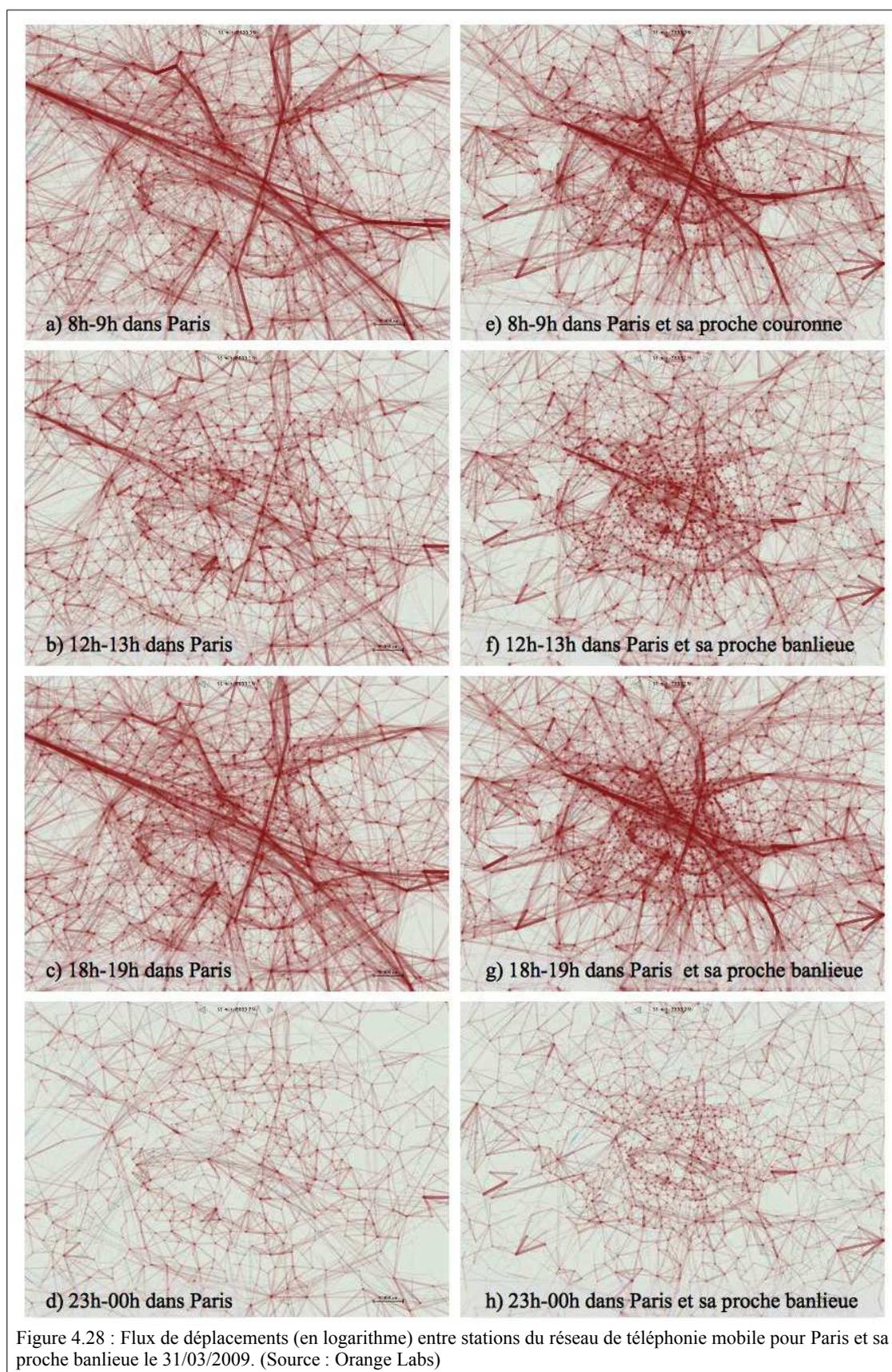
- 8h-9h
- 12h-13h
- 18h-19h
- 23h-00h

Seuls les flux ayant un effectif au dessus de 30 ont été représentés. Les déplacements entre deux BTS sont représentés en rouge, la taille et l'opacité du lien augmentent avec l'effectif observé. L'utilisation systématique de deux types de représentations : la représentation avec la distribution brute (Figures 4.25 et 4.27) et la représentation avec la distribution transformée en logarithme (Figures 4.26 et 4.28) permet de montrer qu'au delà des flux les plus importants qu'on peut aisément observer en représentant la distribution brute, il existe de nombreuses autres phénomènes.









L'intensité des déplacements est plus importante dans le centre de la région, dans Paris centre, mais elle est aussi plus importante en terme de densité spatiale de déplacements (Figures 4.25 et 4.26). Le poids important de Paris est accentué par la structure de la collecte des données, mais cette structure répond elle aussi à une organisation centre-périphérie. Elle ne biaise pas nécessairement l'interprétation de la configuration générale des déplacements. Il faut signaler comme un atout en faveur de l'utilisation de la téléphonie mobile comme instrument d'observation des déplacements, ce formatage initial, répondant à une exigence technique qui fait varier la taille des mailles d'enregistrement selon le nombre des évènements localisés, et qui s'ajuste bien mieux qu'un maillage régulier au modèle de type fractal de la géographie des déplacements dans un espace urbain.

- *Les axes de transport en commun concentrent les déplacements*

En s'intéressant au centre de Paris, en ne considérant que les données brutes (Figures 4.25 et 4.27), on peut se concentrer sur les attracteurs urbains qui créent ces déplacements. Ces attracteurs sont des lieux polarisant l'espace et les individus, mais ils sont reliés entre eux par des infrastructures qui servent cette polarisation : les lieux de transport et les lieux de transit. Les parties a,e,c,g des différentes figures 4.25, 4.26, 4.27 et 4.28 montrent qu'à l'heure de pointe du début du matin et du début de soirée, dans Paris centre, les déplacements des individus sont concentrés à l'ouest sur l'axe Châtelet-la Défense, axe qui concerne de nombreuses lignes de transport (ligne 1 du métro, ligne A et partiellement C du RER) et à l'est sur les axes du RER A et du RER C . Les lignes de transport (ligne 4 du métro et ligne B du RER) suivant l'orientation nord-sud apparaissent aussi clairement.

En milieu de journée (Figure 4.28.b et figure 4.28.f), les déplacements sont toujours importants dans le centre de Paris, mais ils font moins ressortir ces axes de transport, probablement parce que ces déplacements ne relèvent plus des déplacements domicile-travail dirigés vers les pôles d'emplois.

Les figures 4.23 et 4.24 montraient la direction de ces mouvements, principalement dirigés vers l'extérieur de Paris le soir. Le centre de Paris et les quartiers d'affaires comme le quartier de la Défense se vident donc de leurs populations à 18h.

Des centralités éphémères se créant ainsi au sein de ces lieux de transit identifiés par certains auteurs comme des non lieux, parce qu'ils ne sont pas assez ancrés historiquement et socialement (Augé, 1992). La forte présence des individus au sein de ces lieux transitoires vient au contraire, renforcer l'importance du lieu du déplacement dans la pratique quotidienne des individus. Les lieux de la mobilité révèlent ainsi une géographie toute autre que la géographie statique des pôles d'activité.

Au milieu de la nuit (23h-00h), les déplacements sont moins intenses, mais ils existent toujours. La nuit atténue les différences existantes au sein de l'agglomération parisienne. Les

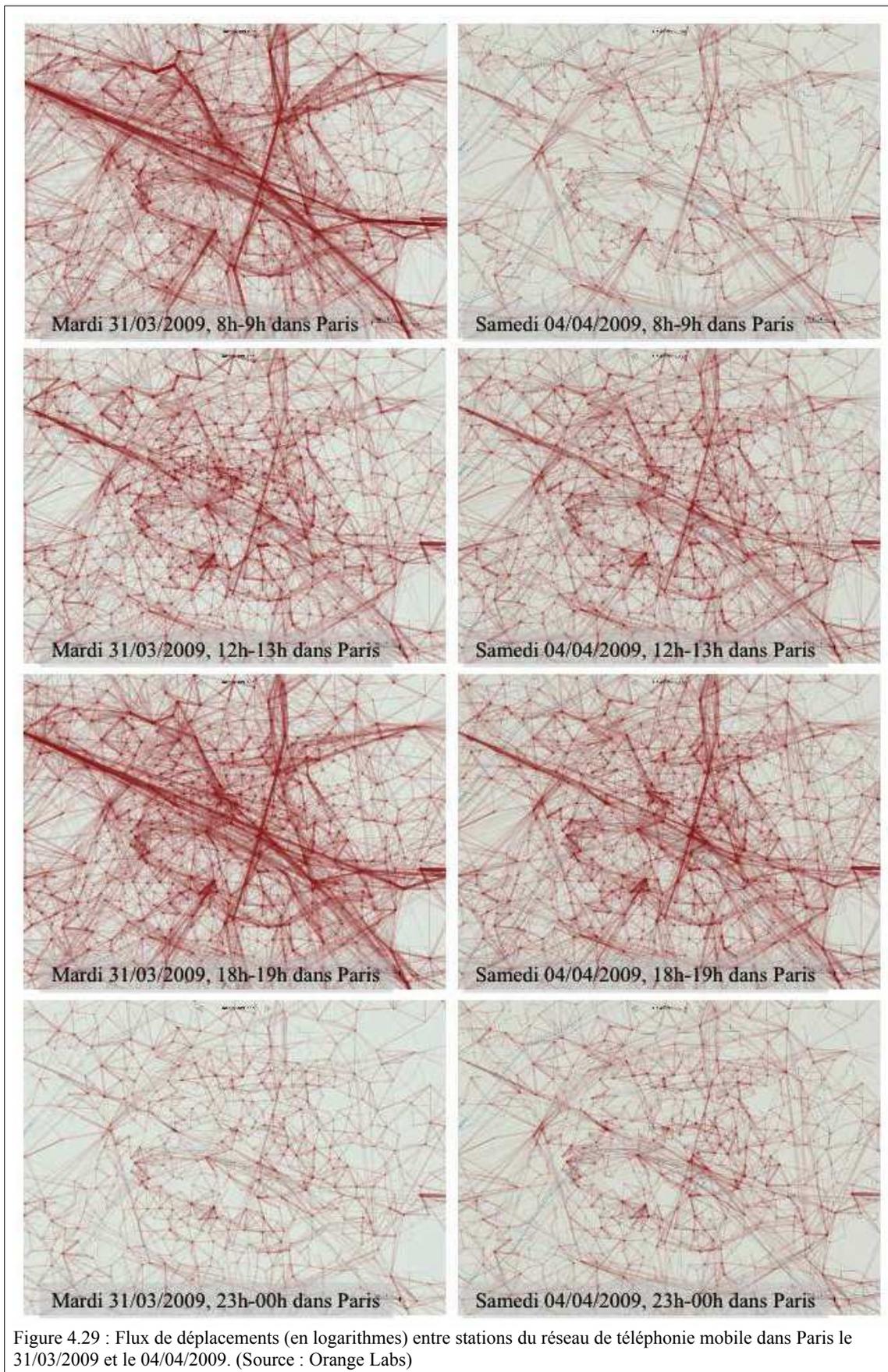
figures 4.26.h et 4.28.h montrent une répartition beaucoup plus homogène des flux au sein de la région francilienne.

Les représentations à l'aide d'une transformation en logarithmes montrent qu'outre le poids écrasant des déplacements domicile-travail, il existe aussi d'autres logiques de mobilité des individus.

De même, la comparaison des flux de déplacements (avec une transformation logarithmique) observés le mardi 31 mars 2009 et le samedi 4 avril 2009 (Figure 4.29), révèle l'importance des horaires de travail dans la structuration des déplacements. Les principales différences entre le mardi et le samedi se situent aux heures de pointe du matin et dans une moindre mesure dans les heures de pointe du soir.

Ces représentations révèlent que l'organisation de l'espace francilien est non seulement une organisation multipolaire, mais une organisation dynamique, comportant des axialités traversantes est-ouest et nord-sud pour convoier ces flux d'individus entre les différents pôles. Ces axes de déplacements montrent aussi les relations existantes entre les différentes parties du territoire, relations très intenses dans le cas du centre de Paris, mais existant aussi en périphérie.

L'un des principaux apports de ces données est de montrer l'occupation du territoire à différents moments de la journée, observation impossible avec des données d'enquête classique ou des données du recensement. Les densités « diurnes » (Mille, 2001) sont ainsi saisies à l'aide de ces usages de communication mobile.



IV.3.2. Les « villages » franciliens

Les déplacements des individus ont été désagrégés en déplacements entre stations de téléphonie mobile, dans les unités géographiques les plus fines qu'on peut observer à partir des données de téléphonie mobile. Ces unités élémentaires peuvent nous permettre de rechercher s'il existe ou pas des logiques de proximité au sein des mobilités franciliennes. Pour cela, les techniques de détection d'agrégats, aussi appelés communautés utilisées dans la science des réseaux sont particulièrement utiles (voir chapitre 1, p.44 et chapitre 3, p.116).

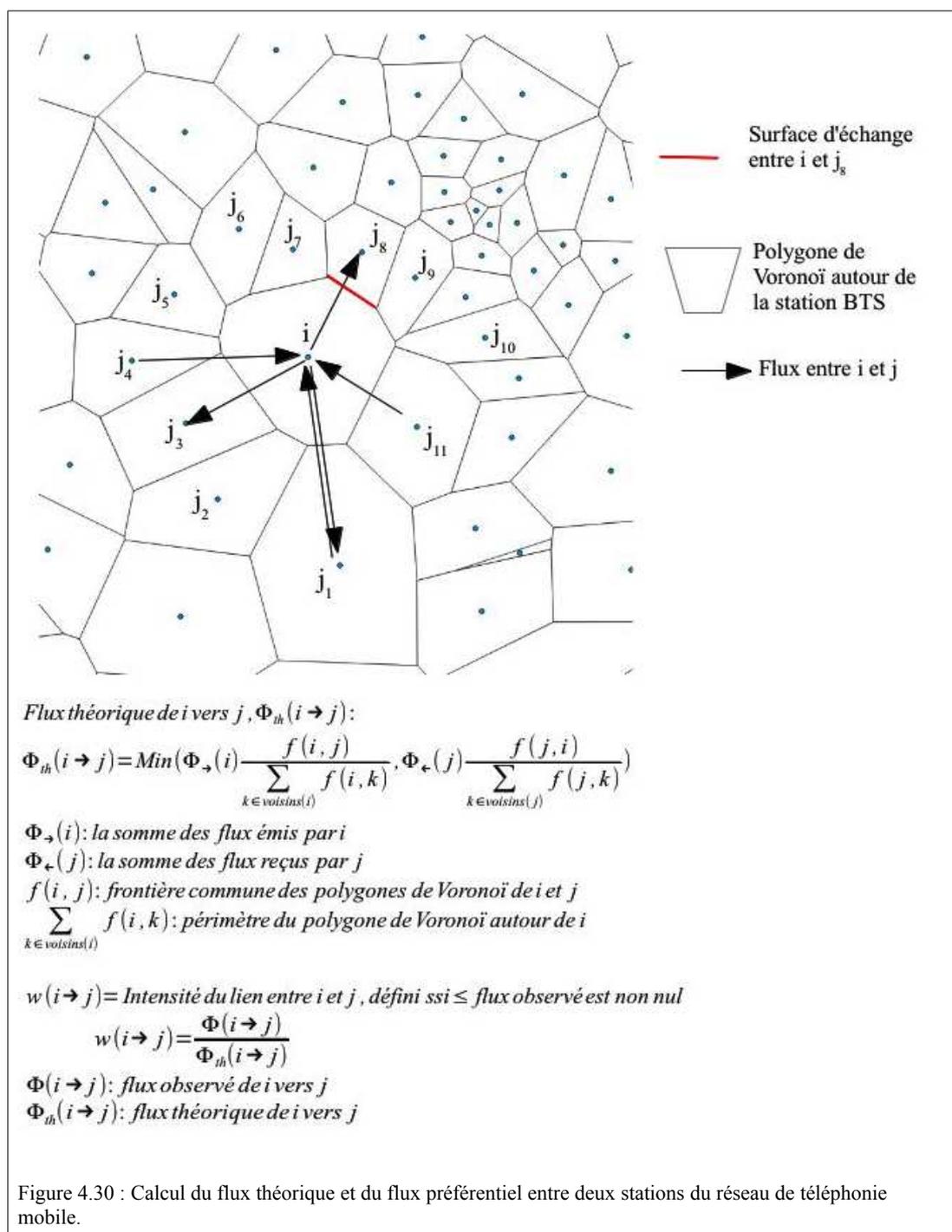
L'idée principale sous-jacente à une détection de communautés est de rechercher les individus qui ont plus de liens entre eux qu'avec les autres individus (Fortunato, 2010). Dans le cas de l'analyse des réseaux, cela permet par exemple, de trouver des communautés sociales, des communautés sémantiques (Cointet, 2009), mais aussi des communautés géographiques (Blondel et alii, 2010 ; Krings, et alii, 2009 ; Lambiotte et alii, 2008 ; Ratti et alii, 2010). Ainsi l'utilisation de ces méthodes a permis de retrouver des communautés d'interactions sociales séparées par des barrières linguistiques ou des communautés régionales dont les limites s'inscrivent particulièrement bien dans les limites administratives classiques.

Toutefois, la recherche de communautés au sein d'un réseau de flux de mobilité nécessite de s'interroger sur plusieurs éléments : quel indicateur choisir pour caractériser les déplacements ? La valeur brute ? Ou une autre valeur ? Comment mesurer la distance entre deux éléments ? Quel algorithme de détection de communauté choisir ?

- Le calcul des flux préférentiels

Pour répondre à ces questions, nous avons choisi d'utiliser une analogie entre le réseau de stations de téléphonie mobile et les polygones de Voronoï entourant ces stations et un ensemble de cellules dans lesquelles se trouvent des particules (Figure 4.30). Les individus sont répartis de manière aléatoire au sein des polygones de Voronoï, et nous faisons l'hypothèse qu'ils se déplacent de manière aléatoire vers les polygones de Voronoï voisins.

Pour mettre en avant des logiques de déplacements préférentiels fondées sur la proximité géographique, nous reconstruisons un nouveau réseau valué cette fois-ci à partir du calcul des flux préférentiels entre polygones de Voronoï voisins au lieu de conserver le réseau de flux de mobilité construit à partir de la somme des déplacements entre stations du réseau de téléphonie mobile.



Afin d'évaluer les déplacements préférentiels entre les polygones de Voronoï voisins, nous mesurons l'ensemble des flux émis par un polygone de Voronoï de centroïde i vers son voisin de centroïde j . Les flux théoriques sont ensuite calculés afin de prendre en compte la structure du réseau de téléphonie mobile. Le flux théorique de i vers j peut être calculé de deux manières:

- en considérant l'ensemble des flux émis par i $\Phi_{\rightarrow}(i)$, et compte tenu de la structure du réseau de téléphonie mobile, en calculant le flux théorique de i vers j à partir de la

probabilité qu'une partie de ce total des flux émis par i aille vers j . La probabilité est calculée à partir du ratio entre la surface d'échange se situant entre le polygone de Voronoï de i et celui de j , $f(i,j)$, et l'ensemble des surfaces d'échange existant entre le polygone de Voronoï i et ses k voisins $\sum_{k \in \text{voisins}(i)} f(i,k)$.

- ou à l'inverse en considérant l'ensemble des flux reçus par j $\Phi_{\leftarrow}(j)$, multiplié par ce même rapport entre la surface d'échange existant entre i et j et l'ensemble des surfaces d'échanges du polygone de Voronoï j et de ses k voisins $\sum_{k \in \text{voisins}(j)} f(j,k)$.

L'intensité du flux de i vers j est alors calculée grâce au rapport entre le flux observé et le flux théorique. Cette mesure permet de filtrer les flux qui sont supérieurs à ce qui était attendu, compte tenu de l'émission totale de déplacements de i et du total de ce que j reçoit et de la structure du réseau de téléphonie mobile.

Cette tentative de cerner les flux préférentiels entre cellules voisines du réseau de téléphonie mobile pourrait avoir davantage de sophistication, mais dans un premier temps, elle nous permet de définir des flux préférentiels en tenant compte de l'organisation du réseau de téléphonie mobile est diminuée.

- La détection des communautés de stations

En ne considérant que les flux préférentiels, dont le ratio entre flux observé et flux théorique est supérieur à 1, nous pouvons déterminer des agrégats de stations ayant des flux préférentiels entre elles. L'utilisation de cette méthode a deux objectifs : déterminer les logiques de proximité existantes et comparer celles-ci dans le temps en s'appuyant sur l'évolution de l'appartenance des stations à une communauté ou à une autre.

Il existe de nombreux algorithmes permettant de construire des communautés (Fortunato, 2010) et parmi ceux-ci, un algorithme s'appuyant sur le phénomène de marche aléatoire de particules (Rosvall et Bergstrom, 2008). Une marche aléatoire est un processus dynamique dans lequel une particule se déplace le long des liens du réseau. M. Rosvall et C. Bergstrom font l'hypothèse que les séquences de déplacements effectués par la particule sur le réseau sont des indices des communautés sous-jacentes (Figure 4.31).

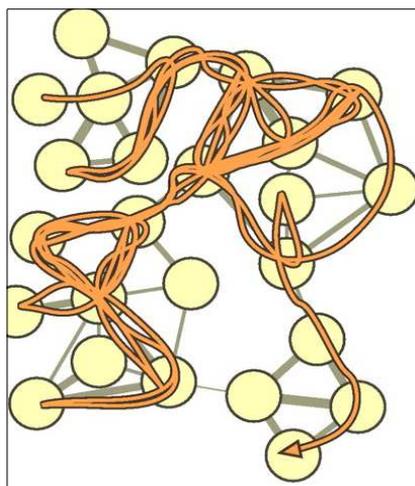


Figure 4.31 : Trajectoire d'une particule en marche aléatoire au sein d'un réseau.
(Source : Rosvall et Bergstrom, 2008)

La redondance de certaines séquences de déplacement permet d'identifier les communautés existantes au sein du réseau.

- La cartographie des « villages » parisiens

La représentation et l'interprétation des résultats issus de la détection d'agrégat soulève de nouvelles interrogations liées :

- le grand nombre d'agrégats :

L'algorithme de détection d'agrégat a été utilisé deux fois pour faire apparaître deux niveaux de communautés :

- un premier niveau comportant 435 communautés si l'on considère tous les déplacements ayant lieu le mardi 31 mars 2009 et 453 pour la journée du samedi 4 avril pour toute l'Ile-de-France (voir Figure 4.32)
- un deuxième niveau, plus agrégé, comportant 44 supra-communautés différentes pour le 31 mars 2009 et 46 supra-communautés différentes pour le 4 avril 2009 (Figure 4.33).

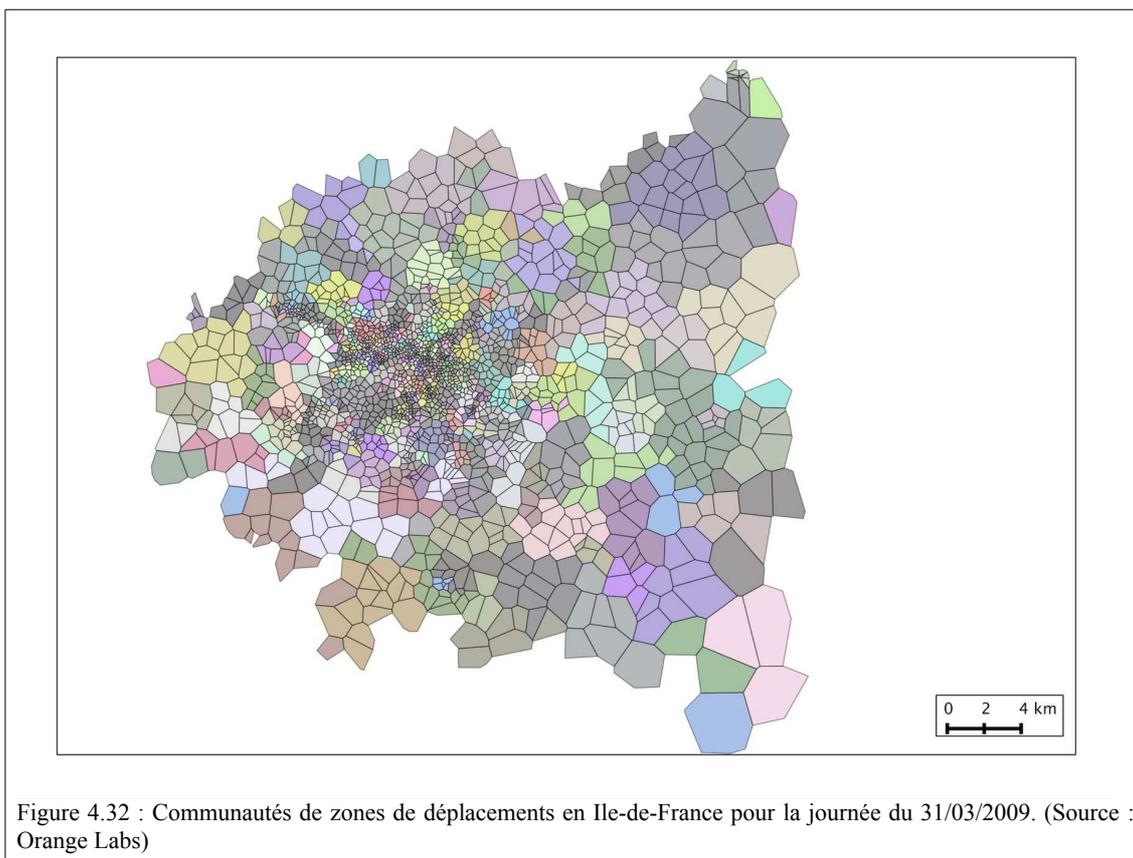


Figure 4.32 : Communautés de zones de déplacements en Ile-de-France pour la journée du 31/03/2009. (Source : Orange Labs)

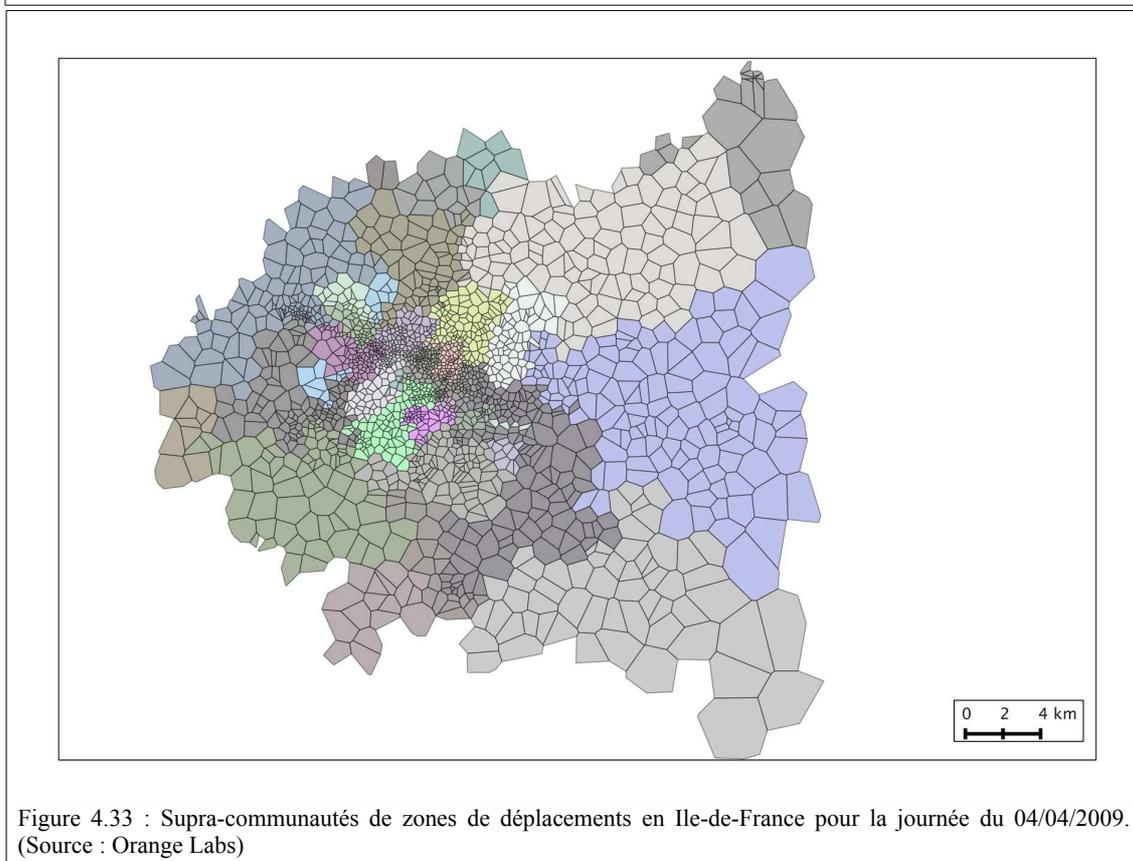


Figure 4.33 : Supra-communautés de zones de déplacements en Ile-de-France pour la journée du 04/04/2009. (Source : Orange Labs)

Mais, même réduits au nombre de 44 les agrégats sont assez nombreux pour rendre difficile une comparaison systématique. Ils dessinent une organisation centre-périphérie, avec de nombreux « villages » dans le centre de l'agglomération et des zones de déplacements préférentiels beaucoup plus importantes en périphérie (Figure 4.33).

Pour représenter les communautés (Figures 4.32, 4.33, 4.35, 4.36 et 4.37), nous avons choisi d'utiliser les polygones de Voronoï autour des stations du réseau de téléphonie mobile et d'utiliser une couleur par type de communauté. Il a été possible de conserver les mêmes couleurs entre les différents créneaux horaires d'une même journée pour les supra-communautés (Figures 4.35 et 4.36), mais cela n'était pas possible pour les communautés simples, ni pour les comparaisons entre différents jours.

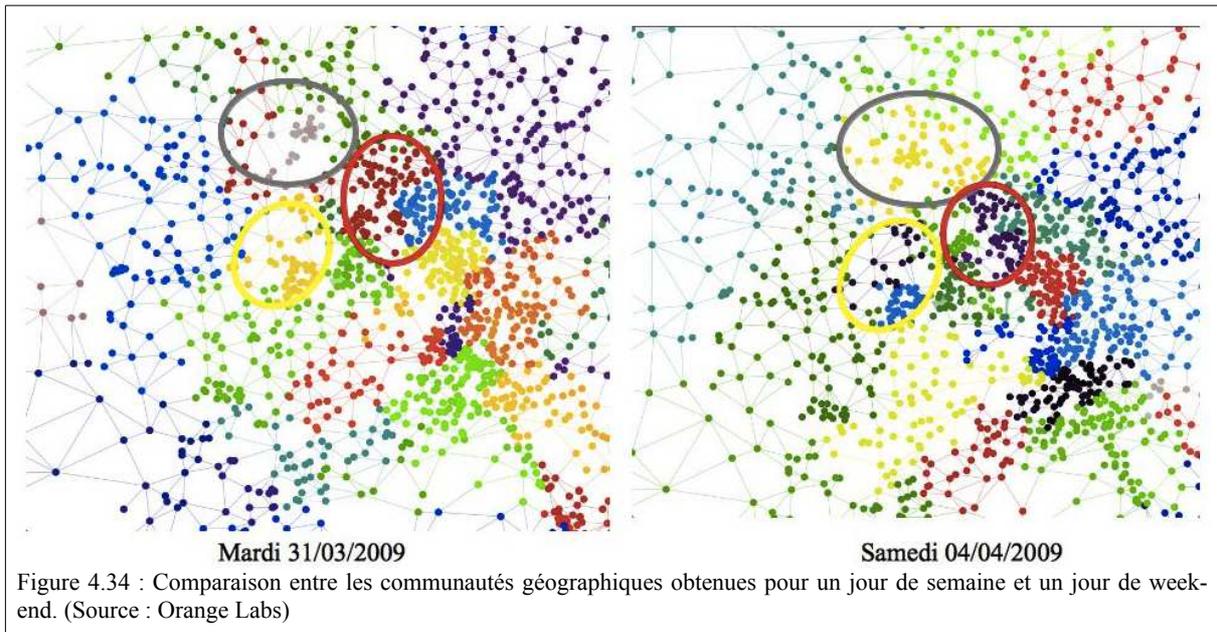
- le choix du découpage temporel :

Prendre en compte les agrégats de déplacements sur une journée peut contraindre fortement la structuration des agrégats. Le poids des déplacements domicile-travail est d'une intensité telle que la structuration du territoire induite par ceux-ci domine largement les autres formes de polarisation de l'espace.

Nous avons donc choisi de découper les journées en fonction de la répartition des déplacements au fil d'une journée dans le but de séparer les déplacements liés au trajet domicile-travail des autres (Figure 4.22, p.128). Une première tranche horaire comprend les déplacements ayant lieu entre 7h et 10h, une deuxième tranche les déplacements compris entre 10h et 17h, une troisième tranche les déplacements compris entre 17h et 21h et une quatrième tranche, les déplacements compris entre 21h et 7h.

- la comparaison entre des communautés différentes :

La comparaison des communautés est difficile à représenter et à comprendre car la composition des communautés varie d'un créneau temporel à un autre (Figure 4.34).



La figure 4.34 représente le centre de la région parisienne. Trois sélections permettent de montrer que les communautés sont modifiées entre le mardi et le dimanche. Certaines se scindent en plusieurs petites communautés :

- la communauté jaune du mardi 31/03/2009, qui se divise en deux communautés
- ou la communauté rouge du mardi 31/03/2009 qui se réorganise complètement

D'autres communautés s'agrandissent :

- la communauté en gris du mardi 31/03/2009 (en jaune le samedi 04/04/2009) comprend beaucoup plus de stations le samedi 4 avril.

La comparaison des répartitions des supra-communautés dans Paris au sein de ces quatre tranches horaires (les autres tranches horaires sont en annexes, p.191) pour la journée du 31/03/2009 montre cependant l'existence de structures fortes qui dépassent le cadre des déplacements domicile-travail. Les variations au sein des supra-communautés identifiées dans Paris sont minimales.

Certains arrondissements présentent une forte cohésion interne, comme le 15^{ème} arrondissement au sud ouest de Paris, tandis que d'autres, comme le 13^{ème} arrondissement, au sud est de Paris, sont partagés entre plusieurs communautés (Figure 4.37).

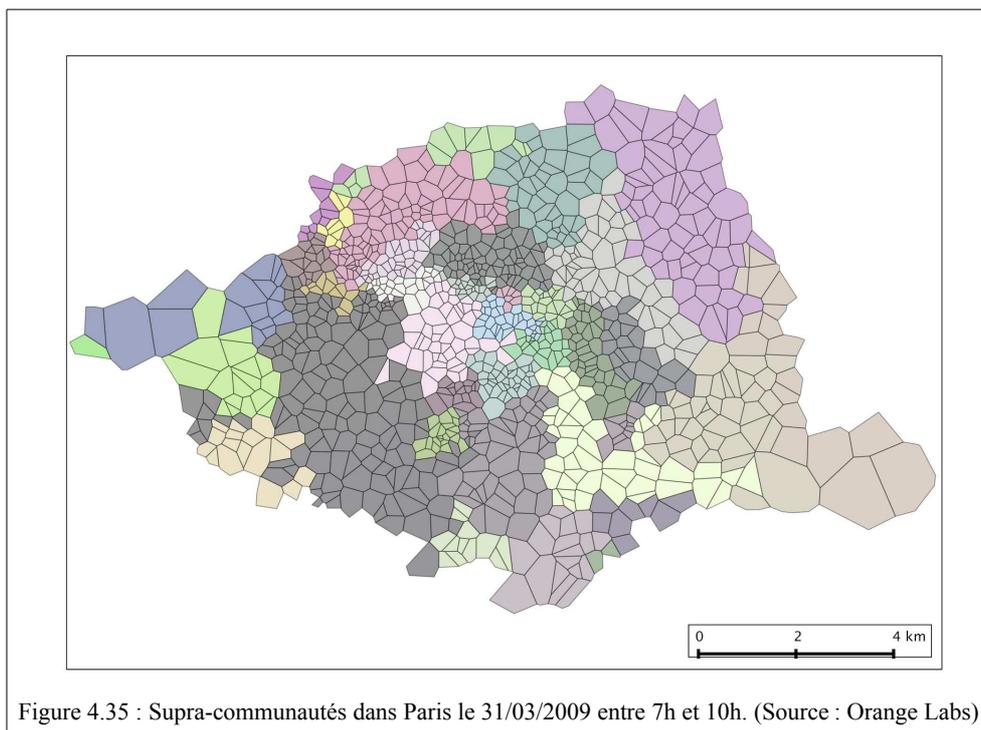


Figure 4.35 : Supra-communautés dans Paris le 31/03/2009 entre 7h et 10h. (Source : Orange Labs)

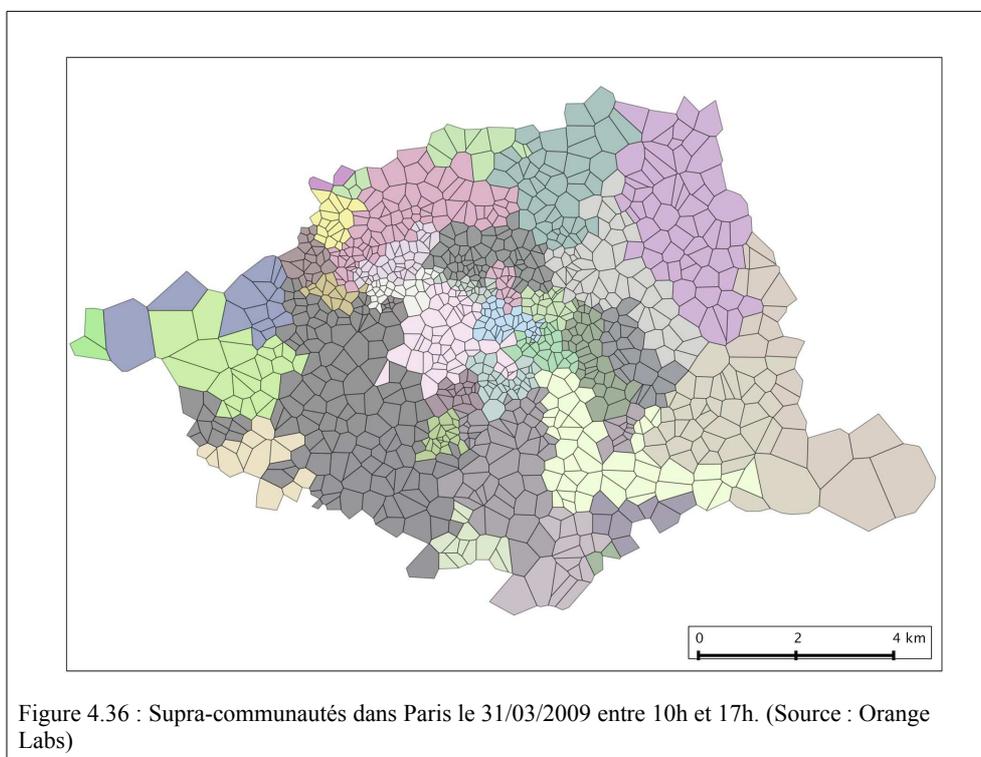


Figure 4.36 : Supra-communautés dans Paris le 31/03/2009 entre 10h et 17h. (Source : Orange Labs)

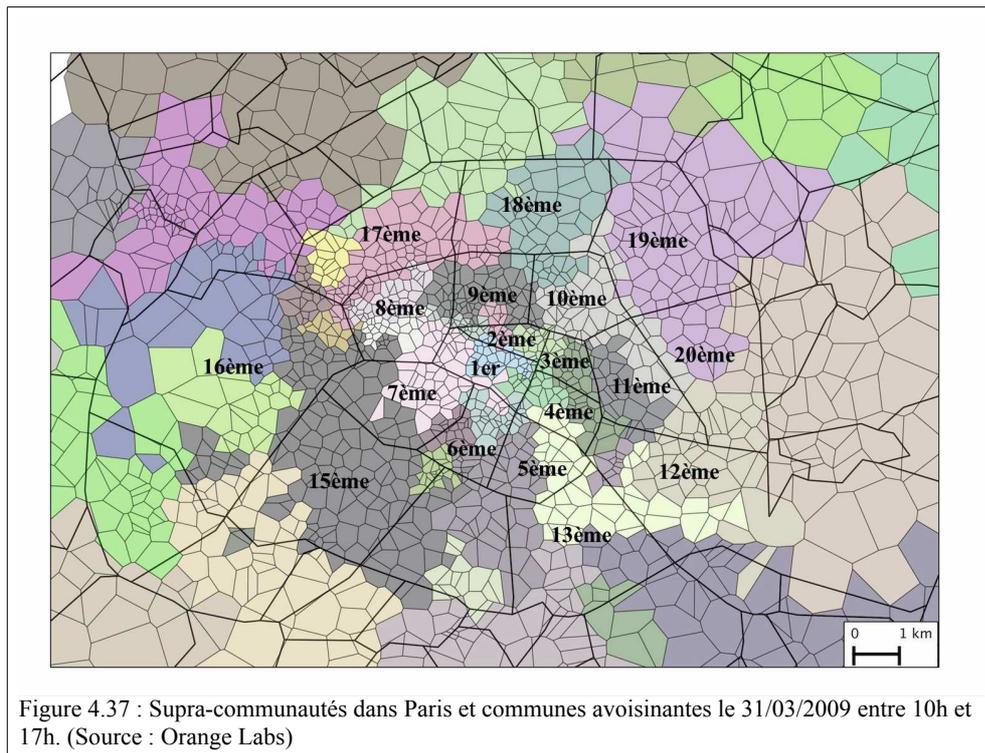


Figure 4.37 : Supra-communautés dans Paris et communes avoisinantes le 31/03/2009 entre 10h et 17h. (Source : Orange Labs)

Il est remarquable de noter que la structure observée à l'échelle de l'Ile-de-France, des petites communautés au centre et des plus grandes communautés quand la distance au centre croît s'observe aussi l'échelle de Paris. A ce titre, les arrondissements de l'est parisien (20ème et surtout 19ème) se différencient des autres car ils appartiennent à des communautés qui débordent largement sur la banlieue tandis que les autres arrondissements appartiennent à des communautés qui restent dans les limites de Paris intra-muros.

Cette étude n'en est ici qu'à ses prémises mais la construction d'agrégats géographiques fondées sur des flux de mobilité préférentiels semble être une piste pertinente d'analyse pour à la fois répondre à des problématiques de fonctionnement local mais aussi pour tenter de comprendre l'évolution des territoires vécus.

Conclusion du chapitre 4

Les données de téléphonie mobile révèlent bien la relation existante entre le cadre très structuré de l'organisation urbaine et la grande variabilité des mobilités individuelles.

L'observation des mobilités à partir d'une telle quantité de données nécessite un changement de niveau d'analyse, le niveau individuel n'étant pas le meilleur niveau auquel analyser ces mobilités. L'agrégation spatio-temporelle de ces données de position pose de véritables défis méthodologiques car il n'existe pas de manière unique d'observer l'organisation spatio-temporelle des mobilités. W. Tobler a fourni des pistes d'exploration et de visualisation du mouvement que nous tentons d'utiliser à l'aide d'un prototype d'analyse exploratoire.

L'analyse exploratoire prend ici tout son sens : la grande quantité de données nécessite des agrégations spatiales et temporelles pour produire une information pertinente. Plusieurs types d'objets permettent d'appréhender ces mobilités : des cartographies des flux de mobilité, mais aussi des vecteurs moyens donnant les grandes tendances observées à l'échelle du territoire et non plus des seules stations du réseau de téléphonie mobile.

L'utilisation de ces représentations est particulièrement efficace pour montrer à la fois les régularités existantes dans l'organisation des mobilités en Ile-de-France mais aussi la forte structuration de ces dernières par les axes de transport. En Ile-de-France, les mobilités quotidiennes les plus importantes en termes de quantité sont des mobilités domicile-travail pendant la semaine. Les autres formes de mobilité sont moins visibles à partir des données brutes de téléphonie mobile. Toutefois, certaines méthodes innovantes comme la détection de communautés issue de l'analyse des réseaux, constituent des pistes de recherche future pour comprendre les mobilités locales et leur évolution.

Chapitre 5 : La mobilité des visiteurs étrangers

Parmi les formes de mobilité peu documentées par des données quantitatives figurent les mobilités des étrangers et en particulier celles des touristes. Les visiteurs étrangers sont identifiés en tant que tels car leur téléphone portable est enregistré auprès d'un opérateur étranger⁵⁹. Quel que soit leur motif principal de visite, les pratiques spatiales des visiteurs étrangers participent de l'ensemble des pratiques urbaines. Les pouvoirs publics ont besoin de connaître les flux de personnes qu'elles engendrent, les zones de congestion qui en résultent (à l'entrée des musées par exemple), car de nombreux revenus sont attendus de ces visites, dans les domaines de la restauration, de l'hébergement ou des services culturels. Ces pratiques de mobilité sont nettement distinctes des mobilités quotidiennes, dans la mesure où il s'agit essentiellement de mobilités de loisirs, parfois hybrides car il existe aussi des mobilités internationales de travail. Ces mobilités s'inscrivent dans une territorialité peu ou mal connue et leur compréhension et leur gestion sont essentielles pour les gestionnaires de l'espace urbain. A titre d'exemple, la question de l'accessibilité internationale et locale des sites touristiques est un des principaux enjeux du schéma régional de développement du tourisme et des loisirs en Île-de-France 2010-2020 (Blum, 2010).

Toutefois, comme pour les mobilités du quotidien, les données manquent pour saisir toutes ces pratiques. En effet, ces populations étrangères sont des populations mobiles par excellence. Malgré la grande variabilité qu'on pourrait imaginer au sein des pratiques de ces individus, il s'avère que les pratiques des visiteurs étrangers sont fortement contraintes par l'offre touristique.

Les données numériques comme les données de téléphonie mobile ou les données de GPS ont permis aux chercheurs de disposer de sources de données pour l'étude de ces déplacements. L'utilisation de données de téléphonie mobile permet de vérifier les connaissances existantes sur la relation entre les pratiques des visiteurs étrangers et l'organisation de l'espace et d'estimer la fréquentation des attracteurs de l'espace urbain.

V.1. Les visiteurs étrangers dans la région Ile-de-France

La mobilité des étrangers est une mobilité spécifique, non seulement en raison de l'éloignement par rapport à un territoire d'origine, mais aussi par les mobilités qu'elle engendre à l'échelle du territoire de destination. La France est une des premières destinations internationales de ces migrations temporaires. Elle reçoit chaque année 196 millions de visiteurs non résidents. Parmi ces visiteurs, 114 millions sont dénommées « excursionnistes » par les organismes statistiques (INSEE, 2010). Ces individus ne passent qu'une journée sur le territoire français : ils ne font donc qu'une escale sur le territoire français, escale se limitant à

59 L'IMSI (International Mobile Subscriber Identifier) du téléphone portable comprend un code nationalité qui indique la nationalité de l'opérateur.

un seul lieu quand ils restent en transit dans un aéroport, ou escales multiples quand ils traversent le territoire français pour se rendre, par exemple, du nord de l'Europe au sud de l'Europe pendant la période estivale. Il est donc à priori très difficile de connaître la mobilité des visiteurs étrangers dans un territoire régional comme celui de l'Ile-de-France.

V.1.1. Comment connaître la présence et les déplacements des visiteurs étrangers ?

Dénombrer les visiteurs étrangers qui se rendent en Ile-de-France est une chose délicate, car peu d'enquêtes exhaustives permettent de mesurer les déplacements des visiteurs étrangers au sein du pays de destination.

Les enquêtes menées par les différents organismes publics ou privés dépendent de la présence des étrangers sur le territoire à un moment donné (Terrier, 2006a). Comme pour les enquêtes sur les mobilités classiques, elles sont coûteuses, ne fonctionnent qu'à l'échelle d'un échantillon de la population et contiennent souvent des questions très générales sur les mobilités touristiques des individus interrogés. Peu d'enquêtes quantitatives creusent la question des mobilités exercées au sein du territoire visité.

Ces enquêtes répondent principalement à des questions économiques. Elles permettent d'évaluer l'impact de la fréquentation étrangères sur l'économie nationale et locale. Parmi les enquêtes menées pour connaître la fréquentation étrangère en France, l'enquête de fréquentation de l'hôtellerie, menée par l'INSEE et la direction du tourisme (Terrier, 2006b), mesure le nombre d'arrivées, le nombre de nuitées, la durée du séjour et la part des nuitées d'affaires des visiteurs. Cette enquête permet de savoir qu'en 2009, 21,6 millions d'étrangers ont séjourné dans un hôtel parisien (Observatoire économique du tourisme parisien, 2010). Toutefois, l'une des premières limites de cette enquête est qu'elle se concentre sur le lieu d'hébergement. Elle permet ainsi de quantifier, de manière générale, le nombre de visiteurs étrangers fréquentant l'hôtellerie et fournit peu d'informations sur les pratiques diurnes des visiteurs. En outre, de nombreux visiteurs étrangers ne sont pas comptabilisés par ces enquêtes car ils ne sont pas concernés par les circuits classiques de l'hébergement hôtelier.

La connaissance des déplacements des étrangers au sein du territoire est complétée par deux enquêtes : l'une mise en place par la Direction du Tourisme et la Banque de France et l'autre par l'Agence de Développement Touristique de la France⁶⁰. Au vu des enjeux économiques liés à la fréquentation touristique en France, la Direction du Tourisme et la Banque de France se sont associées pour financer l'enquête auprès des visiteurs de l'étranger (EVE) qui mesure le volume des flux touristiques à la sortie du territoire (Tardieu et Terrier, 2006). Cette enquête est dans la filiation des anciennes enquêtes aux frontières, devenues difficiles à mettre en place avec la suppression des frontières au sein de l'espace Schengen (Terrier, 2006b).

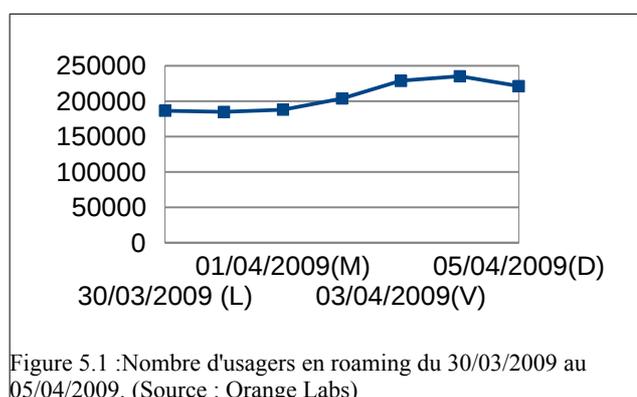
60 Atout France

Aujourd'hui, les organismes de collecte ne peuvent pas arrêter les automobilistes quittant le territoire en voiture, limitant les possibilités de collecter les données.

Environ 80 000 questionnaires sont distribués aux lieux de sortie du territoire français (aéroports, ports, aires d'autoroutes aux frontières...) pour déterminer le nombre de visiteurs ainsi que les caractéristiques générales de leur séjour (régions visitées, durée de séjour, hébergement, motif du séjour, dépenses réalisées). L'agence de développement touristique de la France, constituée de professionnels du secteur, collecte elle des données de péages autoroutiers pour estimer la fréquentation étrangère. Elle mesure aussi la fréquentation annuelle de 3500 sites touristiques.

Ces méthodes d'enquête sont insuffisantes pour saisir les déplacements des visiteurs étrangers sur le territoire visité. Collectées à l'échelle du territoire national, elles ne s'intéressent pas à la spécificité d'un territoire touristique donné comme l'Ile-de-France. En conséquence, l'accessibilité des sources d'information numériques a permis de donner de nouvelles pistes pour analyser les déplacements des visiteurs étrangers au niveau local (Asakura et Hato, 2007; Girardin et alii, 2008 ; Shoval et Isaacson, 2007 ; Terrier, 2006b ; Tiru, Saluveer, Ahas et alii, 2010). Parmi ces sources de données, les données de téléphonie mobile permettent, entre autres de s'intéresser aux pratiques spatiales des visiteurs étrangers au sein de la région Ile-de-France (Olteanu, Couronné, Fen-Chong et alii, 2012).

V.1.2. Qui sont ils?



Avant de nous intéresser aux déplacements et aux pratiques spatiales des visiteurs étrangers, nous allons nous interroger sur cette catégorie un peu floue : « les visiteurs étrangers ». « Les visiteurs étrangers » dont nous parlons sont tous les visiteurs qui se rendent sur le territoire français alors qu'ils ne sont pas abonnés à un opérateur de téléphonie mobile français et dont le téléphone portable utilise à un moment donné le réseau de téléphonie mobile Orange. Il

s'agit d'une utilisation en *roaming*. Entre le 30 mars 2009 et le 05 avril 2009, on dénombre ainsi entre 186 et 235 000 visiteurs étrangers, le maximum étant atteint le samedi 4 avril 2009. Sur le réseau de téléphonie mobile Orange, cela représente entre 83 et 98 millions d'événements enregistrés (le maximum étant enregistré non plus le 4 mais le 3 avril).

De ces visiteurs étrangers nous ne savons rien, ni s'ils sont vraiment « étrangers », ni pourquoi ils se rendent sur le territoire français.

La présence des visiteurs étrangers est associée avec la pratique touristique le plus souvent. Le tourisme se définit comme une activité « *d'une personne qui voyage pour son agrément, visite une région, un pays, un continent autre que le sien, pour satisfaire sa curiosité, son goût de l'aventure et de la découverte, son désir d'enrichir son expérience et sa culture* » (d'après le Trésor de la Langue Française Informatisé). D'après les définitions statistiques, les touristes n'exercent pas d'activité rémunérée et ne restent pas plus d'un an dans le lieu visité. Ces deux types d'information sont inaccessibles avec les données de téléphonie mobile.

Cette définition « comptable » du phénomène touristique et de la visite plus généralement est restrictive. Nombreux sont les visiteurs d'affaires qui profitent de leur séjour pour des pratiques plus « touristiques ». La catégorie est donc floue dans les définitions.

Cette définition paraît insuffisante pour les géographes car elle est très large et ne permet pas de cerner le phénomène étudié (Stock, 2003) : les critères de durée et du motif de séjour sont beaucoup trop flous. La durée inférieure à un an recouvre des réalités bien différentes et le fait que la seule caractéristique du motif du séjour soit d'être « non rémunéré » est aussi très large. Si les migrations définitives ou les mobilités de type déplacement domicile-travail sont bien différenciées du tourisme par ces définitions, la spécificité des pratiques touristiques et leur lien avec le territoire de destination ne sont pas mis en évidence. Ces définitions permettent de compter les touristes mais pas de caractériser leurs pratiques de manière précise.

Les pratiques spatiales des visiteurs étrangers sont pourtant des pratiques qui « *participent de la « récréation » des individus par le déplacement et l'habiter temporaire hors des lieux du quotidien.* » (Knafou et Stock, 2003). Ces pratiques individuelles de mobilité participent à la reconfiguration des territoires, elles créent une situation de « hors quotidien » (Stock, 2003) pour les individus qui investissent temporairement d'autres lieux et contribuent donc à cette réorganisation éphémère évoquée dans les chapitres précédents.

Dans le cas de Paris, cette réorganisation n'est pas qu'éphémère, Paris, ville touristique par excellence, connaît une fréquentation étrangère continue (Francastel, 2008). Seuls certains mois de l'année connaissent une baisse du nombre de visiteurs étrangers, mais globalement, les pratiques des visiteurs étrangers font partie du quotidien parisien. En effet, Paris concentre à la fois une grande quantité de sites touristiques et culturels mais la capitale européenne est aussi le lieu de nombreux congrès d'affaires (Cattan, Pumain, Rozenblat et alii, 2009 ;

Lucchini, 2002). Il est difficile de catégoriser ces visiteurs, en leur attribuant un motif unique, mais il est à l'inverse possible de fournir un ordre de grandeur des visiteurs étrangers présents aux alentours des sites touristiques ou des quartiers d'affaires, permettant ainsi de caractériser davantage les pratiques des visiteurs étrangers en fonction du contexte géographique.

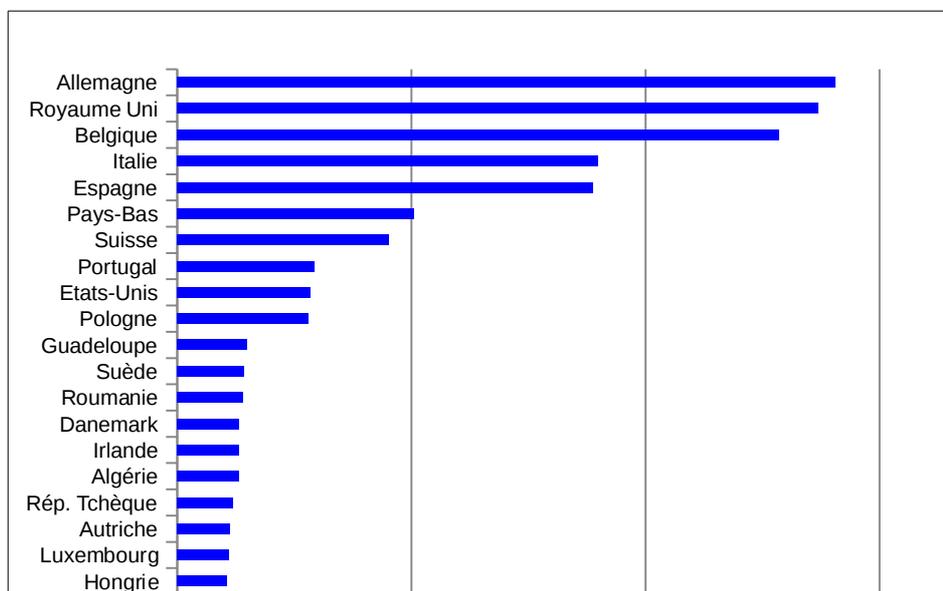
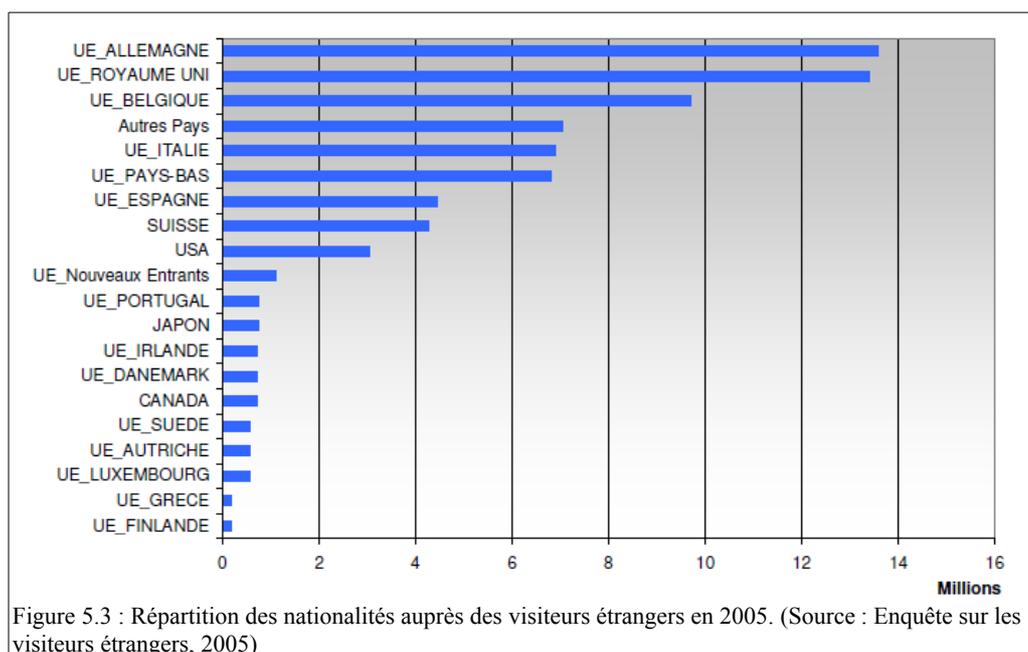


Figure 5.2 : Répartition des nationalités auprès des visiteurs étrangers du 31/03/2009 au 05/04/2009 en Ile-de-France. (Source : Orange Labs)

Si l'on s'en tient aux nationalités présentes dans les données de téléphonie mobile, on constate que les usagers en *roaming* sont majoritairement originaires d'Europe (Figure 5.2).

La répartition des nationalités des usagers en *roaming* est assez proche de la répartition des visiteurs étrangers issue de l'Enquête sur les Visiteurs Etrangers de 2005. Les Allemands, Britanniques, Belges, Néerlandais et Italiens sont bien les premières nationalités en termes de nombre de visiteurs en Ile-de-France comme dans le reste de la France (Figures 5.2 et 5.3).



Cette adéquation entre ces deux répartitions s'explique par le fait que les usagers en *roaming* se connectent, dans la plupart des cas, indifféremment à un réseau de téléphonie mobile locale. La connaissance des accords de *roaming* entre les opérateurs étrangers et l'opérateur Orange n'est pas connue du point de vue de l'opérateur Orange. Celui-ci connaît, à l'inverse avec quels opérateurs locaux ses usagers vont se connecter de manière privilégiée. Dans la figure 5.2, on remarque que le nombre d'usagers venant de Roumanie ou de Pologne est important alors qu'il l'est moins dans les statistiques générales. Cette surreprésentation peut s'expliquer par des effets d'accords commerciaux entre Orange France et les compagnies locales (Orange Pologne par exemple). Quoi qu'il en soit, la forte dimension aléatoire de la connexion à un réseau de téléphonie mobile ou un autre explique qu'on ne trouve pas d'aberration dans la répartition des nationalités présentes sur le réseau Orange.

V.1.3. Comment se déplacent ils?

Une fois sur le territoire francilien, la question est de savoir comment ces visiteurs étrangers se déplacent. Les modes de transport disponibles pour ces derniers sont : la marche, le métro, le bus, la voiture ou les taxis. G. Simon (2010) étudie pour deux types de voyageurs, les *backpackers* et les voyageurs en groupe les différents modes de transport utilisés au sein de l'espace visité (en l'occurrence, Paris).

Dans les deux cas, les *backpackers* et les voyageurs dont le voyage a été organisé par un tour opérateur privilégient la marche à pied et l'utilisation du métro. La marche est une

déambulation qui s'appuie sur l'organisation de l'espace urbain : localisation des sites touristiques, mais aussi organisation des voiries. Dans le cas de Paris, cette forme de déplacement est favorisée par la concentration des attractions au cœur de Paris intra-muros.

« La relative petitesse de Paris et la concentration touristique permettent de marcher et de déambuler en se « reposant », en quelque sorte, sur la ville du fait de sa faible superficie. Ainsi, on n'est jamais très loin d'un monument ou d'un axe structurant, et l'on peut toujours savoir à peu près où l'on est. Les distances piétonnes entre les différents points de la ville restent assez courtes si l'on se place à l'échelle métropolitaine. » G. Simon, 2010, p.365

Le deuxième mode de transport utilisé par les voyageurs est le métro, utilisé pour sa fonctionnalité et la grande lisibilité de son réseau (Denis et Pontille, 2010). Le métro est envisagé comme un complément à la marche, quand la distance à parcourir ou le poids à porter sont trop importants. C'est un mode de transport efficace que les individus s'approprient rapidement.

Toutefois, dans leur ensemble, les mobilités des visiteurs étrangers sont des mobilités difficiles à saisir :

- en raison du manque de stabilité géographique de la population concernée, les visiteurs étrangers restant souvent peu de temps sur le lieu de visite, les possibilités d'enquête sont limitées.
- en raison du mode de transport choisi, la marche, mobilité douce, étant une des formes de mobilité qu'on connaît mal avec des méthodes d'enquête classique
- en raison de la variabilité des emplois du temps de ces visiteurs étrangers, qui pour certains, ceux qui vont travailler, se rendent dans des lieux d'emploi à horaires plus ou moins réguliers et d'autres qui se rendent dans différents lieux au fil de la journée.

La grande variabilité des pratiques de mobilité ainsi que la spécificité de ces mobilités de loisirs rendent les données numériques comme les données de téléphonie mobile, précieuses pour approfondir la connaissance de ces pratiques urbaines.

La connaissance de ces pratiques est d'autant plus importante pour les gestionnaires de l'espace que le nombre de visiteurs étrangers est important dans la région parisienne. Ces visiteurs étrangers et en particulier les touristes, contribuent à structurer fortement l'espace parisien (Dubucs, 2010). Selon M. Stock *« Le tourisme investit des villes dont il amplifie la centralité en démultipliant leur fréquentation, leurs services et en assurant partiellement leur croissance démographique. »* (2003, p.49). L'importance des visiteurs étrangers et des touristes dans l'occupation de l'espace parisien s'illustre bien avec la carte d'Eric Fisher (Chapitre 1, p.75) représentant les lieux d'où étaient prises les photographies déposées sur le

site Flick'R. Dans cette représentation, le Paris des visiteurs étrangers est clairement concentré dans l'ouest parisien, tandis que le Paris des Français englobe l'est et la périphérie. Le tourisme vient donc renforcer cette centralité de l'ouest parisien dont le rôle structurant, y compris pour les résidents français, a déjà été démontré (Chapitre 2, p.70).

L'impact des pratiques des visiteurs sur les usages de l'espace peut aussi se mesurer dans le rapport entre cette population mobile et la population résidente : la population « touristique » est 12 fois supérieure à la population parisienne, alors que pour New York, ce rapport est de 1 à 5 (Duhamel et Knafou, 2007). La population touristique, quand elle investit les quartiers parisiens, vient donc renforcer la centralité existante et entre donc en concurrence avec les résidents pour les usages de l'espace. La connaissance de la « population présente » sur le territoire (Terrier, 2006b ; 2010) est essentielle pour les aménageurs, car elle est alors une combinaison de la population résidente, de la population active et de celle qui investit les lieux de manière temporaire.

V.2. Le Paris des visiteurs étrangers : centres et périphéries

Le Paris pratiqué par les visiteurs étrangers est contraint par l'offre touristique. Cette offre, dans son organisation spatiale, correspond à l'organisation de la région francilienne. Ainsi, malgré la grande liberté qui s'offre aux visiteurs étrangers, leurs pratiques sont fortement concentrées dans Paris centre, cœur du fonctionnement de la région car il concentre de nombreuses fonctions métropolitaines, mais aussi cœur d'attraction touristique, car il comprend à la fois l'offre d'hébergement, mais aussi les différents attracteurs urbains qui intéressent les visiteurs étrangers.

«Tourism development depends upon concentration rather than on dispersal, functional combination rather than segregation, and multifunctional environments rather than monofunctional ones. Success depends upon the functional integration of facilities within multipurpose clusters, which necessitates more attention being paid to the nature of integration.» (M.C. Jansen-Verbeke et G. Ashworth, 1990, p. 619)

La représentation et l'analyse des pratiques des visiteurs étrangers en Ile-de-France interroge les modèles d'organisation de l'agglomération. Tout comme le fonctionnement de l'agglomération parisienne s'articule entre plusieurs échelles, l'espace touristique de Paris revêt plusieurs dimensions (Duhamel et Knafou, 2007):

- Le Paris intra-muros, le plus étudié par la littérature (Freitag, 2008 ; Pearce 1998 ; Pearce 1999).
- Mais aussi un Paris périphérique de territoires « inattendus comme l'Oise (campagne

publicitaire dans le métro parisien en mai 2006) ou reconnus comme Versailles » (Duhamel et Knafou, 2007, p.41).

- Et enfin une dimension péri-métropolitaine, qui peut s'étendre jusqu'à la Provence (Duhamel et Knafou, 2007).

V.2.1. Un hypercentre touristique extrêmement fréquenté

- L'hyper-centre touristique d'après la littérature

Dans le cas de Paris, le tourisme vient contribuer à une centralité déjà existante (Chapitre 2, p.70). L'équipe MIT (2002), fait l'hypothèse que l'espace des touristes est circonscrit et ce même s'ils s'aventurent parfois en dehors de cet espace. La centralité touristique de Paris s'articule autour de deux cœurs (Figure 5.4) :

- le cœur historique du jardin du Luxembourg au Marais en passant par l'Eglise Notre Dame
- le cœur du XIXème siècle, délimité au nord par les Grands Boulevards, à l'ouest par l'Arc de Triomphe et au sud par le Champs de Mars et l'Ecole Militaire.

Ces deux centres sont complétés par des sites ponctuels, comme Montmartre (Pearce, 1999) qui concentre lui à la fois offre d'hébergement et offre de commerces, tandis que des lieux touristiques comme le cimetière du père Lachaise ou la Basilique de Saint Denis sont davantage des lieux de passage, où les visiteurs se rendent ponctuellement, comportant moins d'hébergement hôtelier.

Ce Paris monumental est concentré dans un espace aisément délimité pour les touristes (équipe MIT, 2002). Les modalités de déplacement de ces derniers se font principalement à pied dans le cœur historique est accessible à pied. Quand il s'agit de se rendre dans les sites périphériques, les visiteurs étrangers utilisent eux aussi les réseaux de transport en commun, pour joindre des sites touristiques éloignés, mais souvent bien reliés au centre de Paris.

- Des représentations lissées du nombre de visiteurs étrangers pour révéler la présence des visiteurs dans cet hypercentre touristique

Le décompte des visiteurs étrangers présents sur le réseau de téléphonie mobile Orange permet de donner une approximation de la présence globale des visiteurs étrangers dans la région Ile-de-France. Afin de représenter ces effectifs sur un espace continu et pas simplement au niveau des stations du réseau de téléphonie mobile, ces effectifs sont répartis au sein de l'espace à l'aide d'une fonction de lissage. La représentation lissée permet d'obtenir une vision plus globale de la répartition des visiteurs étrangers au sein de l'espace. Le lissage utilise la moyenne pondérée des points situés au sein de la fenêtre considérée. La moyenne est pondérée par une fonction de distance, appelée *biweight* (comme dans le chapitre 4, p.125).

$$p = \left[1 - \left(\frac{d}{D_{max}} \right)^2 \right]^2 .$$

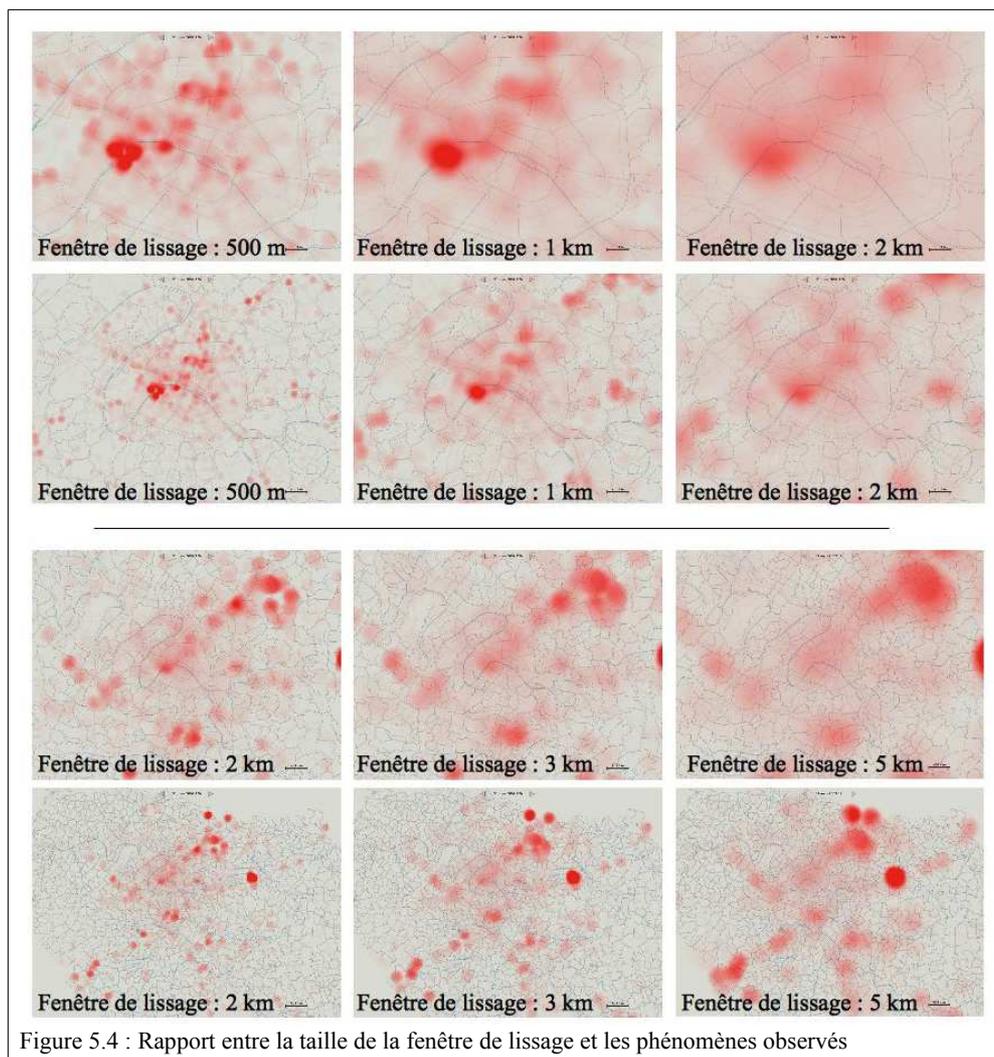
Avec d : la distance calculée par rapport à la station du réseau de téléphonie mobile

D_{max} : la taille de la fenêtre de lissage, soit la distance maximale par rapport à la station du réseau

Cette méthode a pour hypothèse que la probabilité de présence des individus est maximale quand la distance à la station du réseau de téléphonie mobile est nulle et que cette probabilité diminue avec la distance.

La taille de la fenêtre de lissage a été choisie en fonction du niveau géographique d'observation. Dans la figure 5.4, si l'on se concentre sur l'observation de la présence des visiteurs étrangers dans Paris centre, on remarque qu'un rayon de fenêtre de lissage d'1 km comme les différentes existantes au sein de l'ouest parisien. Le quartier de la Tour Eiffel et du Champs de Mars comprend de nombreux visiteurs étrangers, mais c'est aussi le cas du quartier du Musée d'Orsay, un peu plus à l'est. Le « vide » relatif existant entre ces deux quartiers est complètement passé sous silence lorsque la taille de la fenêtre de lissage augmente, agrégeant tous ces lieux de la rive gauche de la Seine au sein d'un même pôle.

De même si l'on peut encore faire des distinctions au sein du centre de Paris lorsque la taille de la fenêtre de lissage est de 2km, quand celle-ci atteint les 5 km et qu'on observe la région Ile-de-France, les différences existantes au sein de Paris disparaissent au profit d'une vision globale de l'intensité de présence des visiteurs étrangers.



Il existe cependant un biais à cette représentation : un effet « d'îlot » qui se manifeste quand une station a un nombre d'individus particulièrement élevé et qu'elle est isolée spatialement. C'est le cas de Disneyland dont l'importance est spatialement surreprésentée quand on augmente la taille de la fenêtre de lissage.

- Les flux de déplacements représentés de la même manière que pour les usagers français de téléphonie mobile

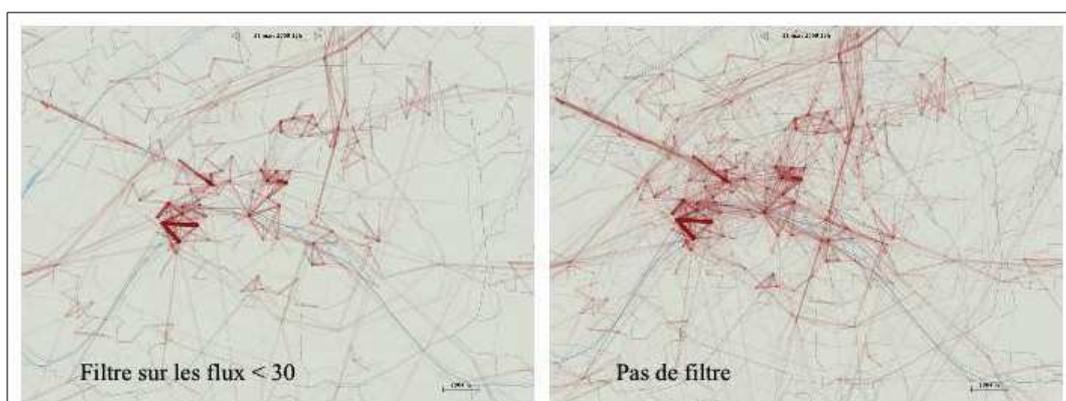


Figure 5.5 : Comparaison entre la représentation filtrée (seuil : 30) des flux de déplacements de visiteurs étrangers entre stations à Paris entre 12 et 13h le 31/03/2009. (Source : Orange Labs)

Nous avons choisi de représenter les flux de visiteurs étrangers en utilisant le même filtre que dans le cas des usagers français (un seuil de déplacements fixé à 30) et en utilisant une transformation logarithmique. Cette représentation simplifiée aide à comprendre l'organisation des flux les plus importants, mais il existe de nombreux déplacements en dessous de ce seuil (Figure 5.5). Le filtre permet donc de donner une première compréhension de ces déplacements peu connus.

- Les rythmes des visiteurs étrangers

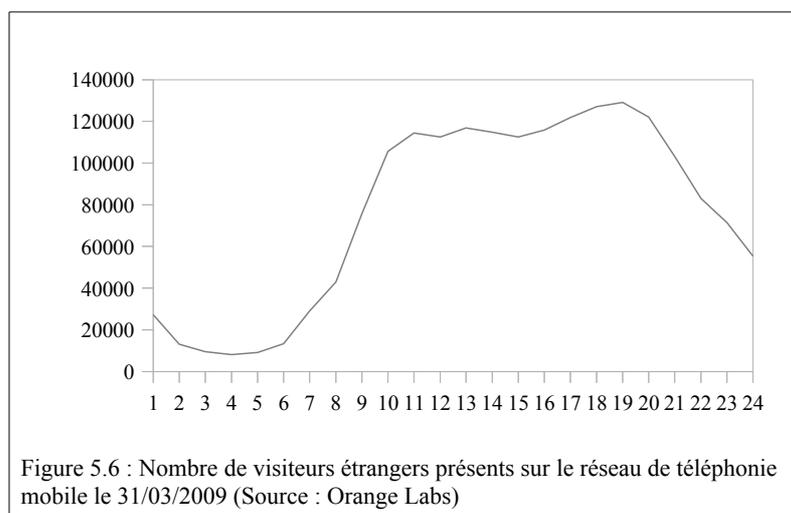
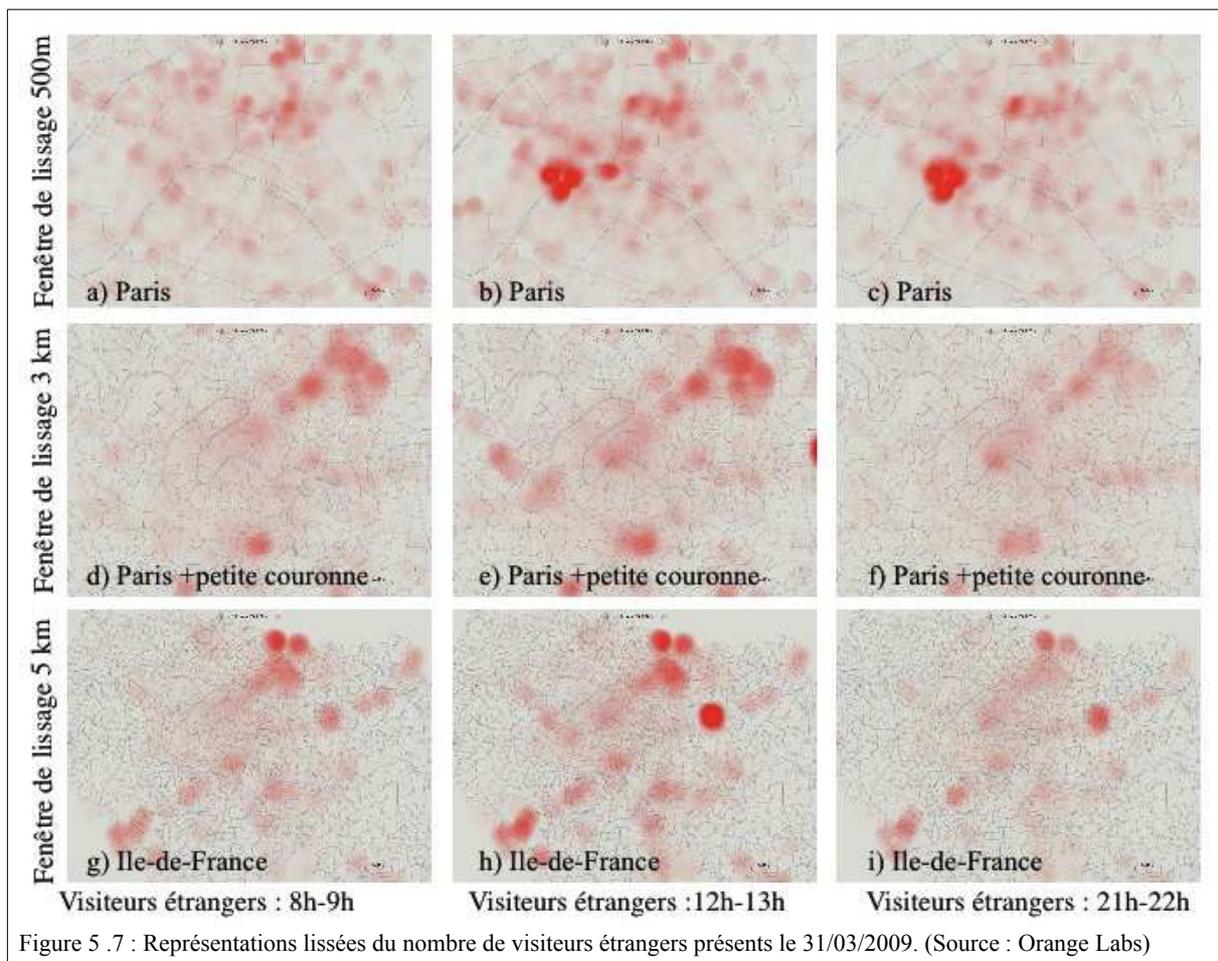


Figure 5.6 : Nombre de visiteurs étrangers présents sur le réseau de téléphonie mobile le 31/03/2009 (Source : Orange Labs)

La figure 5.6 permet de comprendre la répartition des visiteurs étrangers sur le réseau de téléphonie mobile au fil d'une journée. Contrairement à la répartition observée pour les usagers français, il n'y a pas de pic de présence aux heures de pointe (cf Chapitre 4, figure 4.21, p.127). La présence des visiteurs étrangers se maintient tout au long de la plage horaire 10h-20h. Nous avons donc choisi d'observer leur présence au début de la journée, entre 8h et 9h, puis au milieu de cette journée, entre 12h et 13h et enfin en soirée entre 21h et 22h.

Cette observation se déroule à trois échelles spatiales différentes afin de mettre en évidence les différents attracteurs de l'espace urbain.



La concentration des visiteurs étrangers au sein de la région parisienne évolue au fil de la journée (Figure 5.7) :

– entre 8h et 9h, ils sont d'abord davantage dans le nord de Paris (Figure 5.7.a), autour de la gare du Nord, autour des aéroports de Charles de Gaulle, d'Orly (Figure 5.7.d) ou aux frontières nord et sur de la région (Figure 5.7.g).

– Entre 12h et 13h, les visiteurs étrangers sont très nombreux dans le centre de Paris, autour du Champs de Mars et du musée d'Orsay (Figure 5.7.b). Mais ils sont également toujours nombreux autour des grands boulevards.

A l'échelle de la région, on observe une forte présence de visiteurs étrangers dans le nord est de Paris autour de l'aéroport Charles de Gaulle, dans le sud de Paris autour de l'aéroport d'Orly, à l'est de Paris autour de Disneyland (Figure 5.7.e). Qui plus est, les présences des individus dessinent un réseau en étoile qui correspond probablement au réseau autoroutier francilien (Figure 5.7.h).

– Entre 21h et 22h, la partie ouest de Paris connaît toujours une présence étrangère

beaucoup plus importante que dans le reste de Paris (Figure 5.7.c). Cette sur-concentration de traces de visiteurs étrangers dans l'ouest parisien dure toute la soirée. L'offre touristique parisienne (spectacles, lieux dansants, restaurants et bars) est alors concentrée dans Paris intra-muros (Schuster, 2008) et explique cette forte présence. La présence des visiteurs étrangers est néanmoins toujours très importante à Disneyland et autour des axes et infrastructures de transport de la région (Figure 5.7.c).

Le long de la soirée et plus particulièrement après minuit, les différences spatiales s'atténuent néanmoins, l'ouest parisien se vidant des visiteurs étrangers, ou du moins ces derniers ne donnant plus de signe de présence sur le réseau de téléphonie mobile. Cette absence de présence des visiteurs étrangers correspond aux rythmes de l'espace urbain parisien observés par l'APUR (2004) où de 1h à 5h, la plupart des services de loisirs, mais aussi les services marchands ou l'offre de mobilité sont réduites.

« Après 2h entre 800 et 1000 établissements restent ouverts, concentrés sur quelques pôles, mais la plus grande partie de la capitale s'est éteinte. » (APUR, 2010, p.2)

Seule restent éveillés la ville de garde (dont les services sont répartis de manière homogène sur le territoire) et la ville des marges.

Ainsi, une des conclusions que permettent de vérifier ces données est l'importance de l'ouest parisien dans les pratiques des visiteurs étrangers. Toutefois, comme P. Duhamel et R. Knafou l'expliquent (2007), l'espace touristique ne peut pas être continu dans le cas d'une grande ville comme Paris. A côté du cœur touristique, des îlots attirent les visiteurs étrangers.

Le site de Disneyland Paris, pôle touristique par excellence attire de nombreux visiteurs étrangers, y compris une fois la nuit venue (Figure 5.7.i et 5.8). Disneyland vient donc renforcer l'hypothèse d'une métropole touristique avec plusieurs pôles et plusieurs niveaux d'attraction. Mais c'est aussi un pôle particulier car il fonctionne de manière quasi-autonome par rapport au pôle parisien. Il dispose de ses propres lignes à grande vitesse et d'une diversité de fonctions de loisirs, d'hébergement mais aussi de commerce (via le centre commercial Val d'Europe). Les flux de déplacements entre Disneyland et le cœur parisien sont d'ailleurs moins importants que les flux entre Charles de Gaulle et Paris (Figure 5.8), confirmant bien cette autonomie relative de Disneyland par rapport au cœur touristique. C'est donc un pôle qui profite de la centralité parisienne et vient la renforcer (Duhamel et Knafou, 2007).

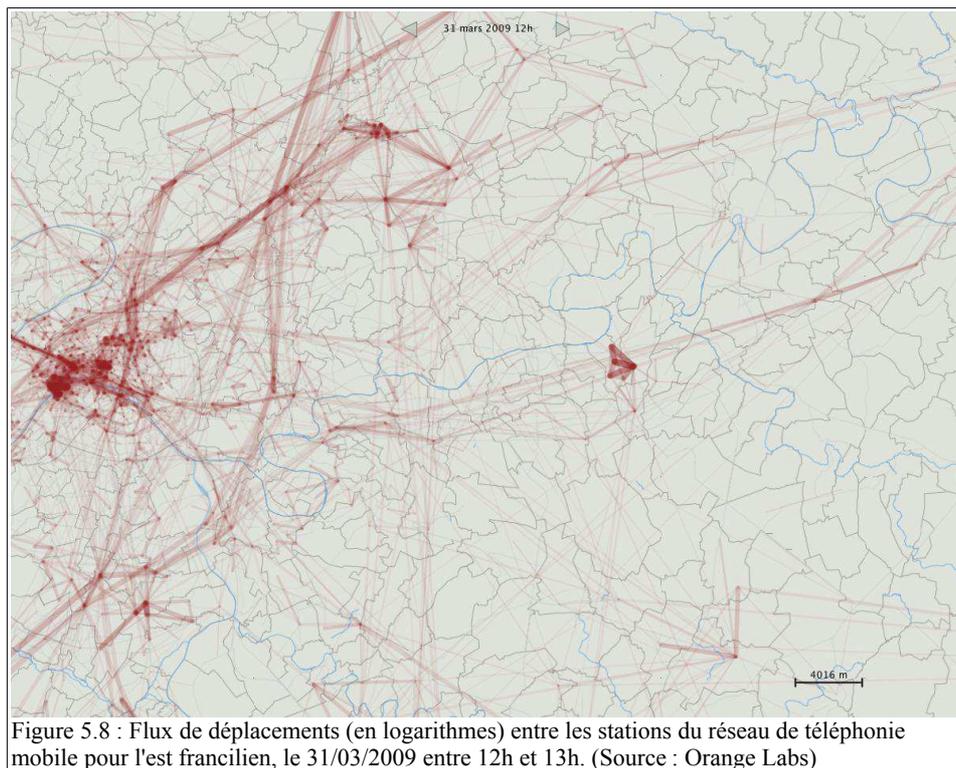


Figure 5.8 : Flux de déplacements (en logarithmes) entre les stations du réseau de téléphonie mobile pour l'est francilien, le 31/03/2009 entre 12h et 13h. (Source : Orange Labs)

La présence des visiteurs étrangers sur le réseau de téléphonie mobile confirme les hypothèses existantes sur l'organisation de l'espace touristique parisien. Malgré la variabilité liée à la collecte des données des usagers en *roaming* et la variabilité des pratiques de ces usagers qui n'obéissent plus aux routines de leur cadre habituel, les visiteurs étrangers sont contraints par l'organisation de l'offre touristique et culturelle. La présence de ces visiteurs étrangers est concentrée dans le centre historique et aussi dans certains pôles périphériques comme Disneyland. La question du polycentrisme touristique se pose pourtant, car pour l'instant, la quasi-autonomie de Disneyland, du point de vue des flux, tend à renforcer le schéma d'une organisation monocentrique des pratiques des visiteurs étrangers.

V.2.2. L'importance des déplacements des visiteurs étrangers

D'autres formes de polarisation apparaissent néanmoins à l'échelle de Paris (la gare du Nord) et à l'échelle de la région. Ces logiques sortent du cadre de l'hyper-centre touristique parisien (Figures 5.9 et 5.10) : les déplacements sont nombreux le long d'un axe reliant Paris et l'aéroport Charles de Gaulle, situé au nord-est, et d'autres flux de déplacements dessinent un axe contournant Paris par l'est (Figures 5.9 et 5.10).

L'importante présence des visiteurs au sein de ces lieux et axes de transit révèle une autre facette du Paris des visiteurs étrangers : Paris comme un nœud de communication et de transports majeur. Les plateformes aéroportuaires et des axes autoroutiers constituent en effet des pôles d'attraction importants des visiteurs étrangers.

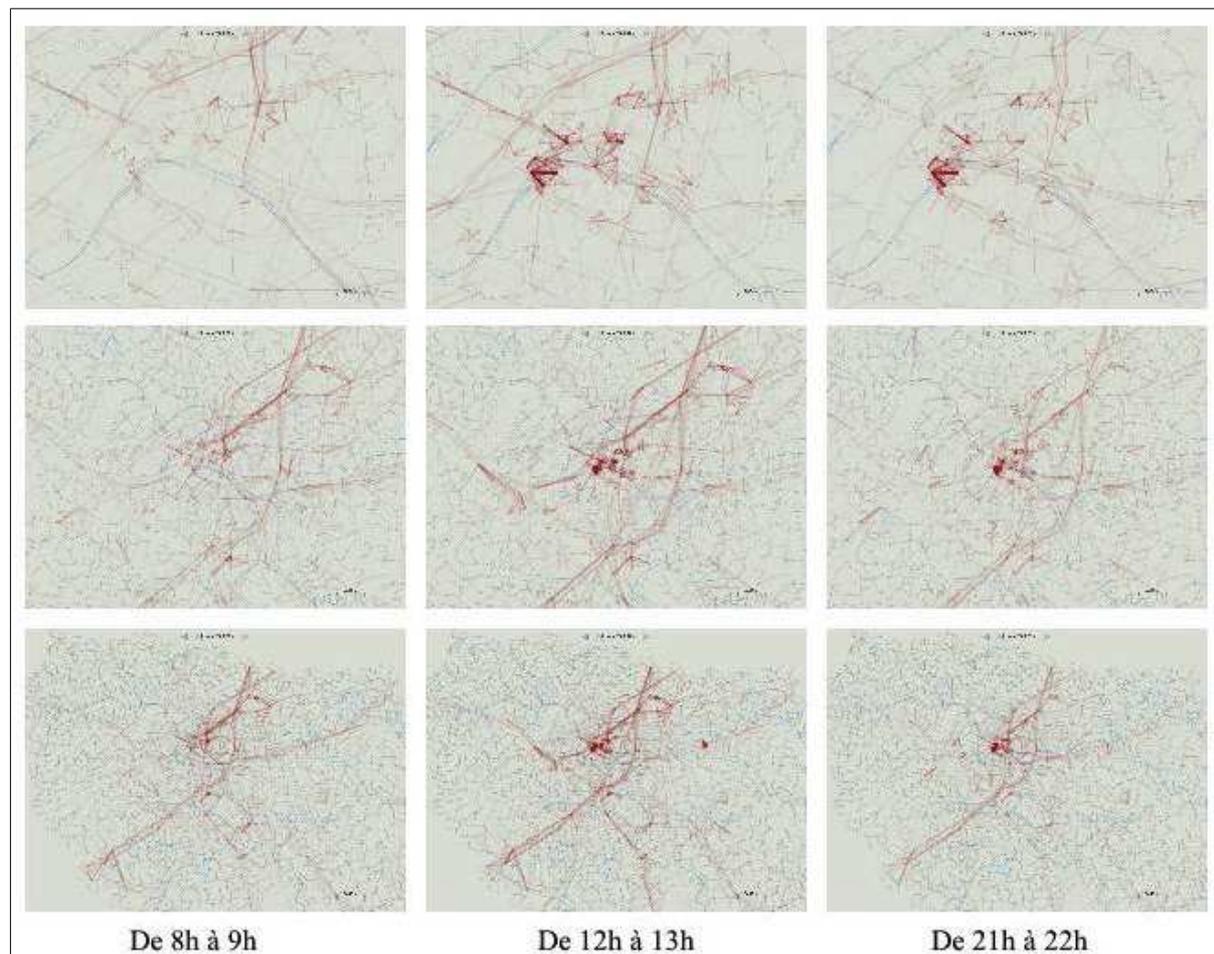
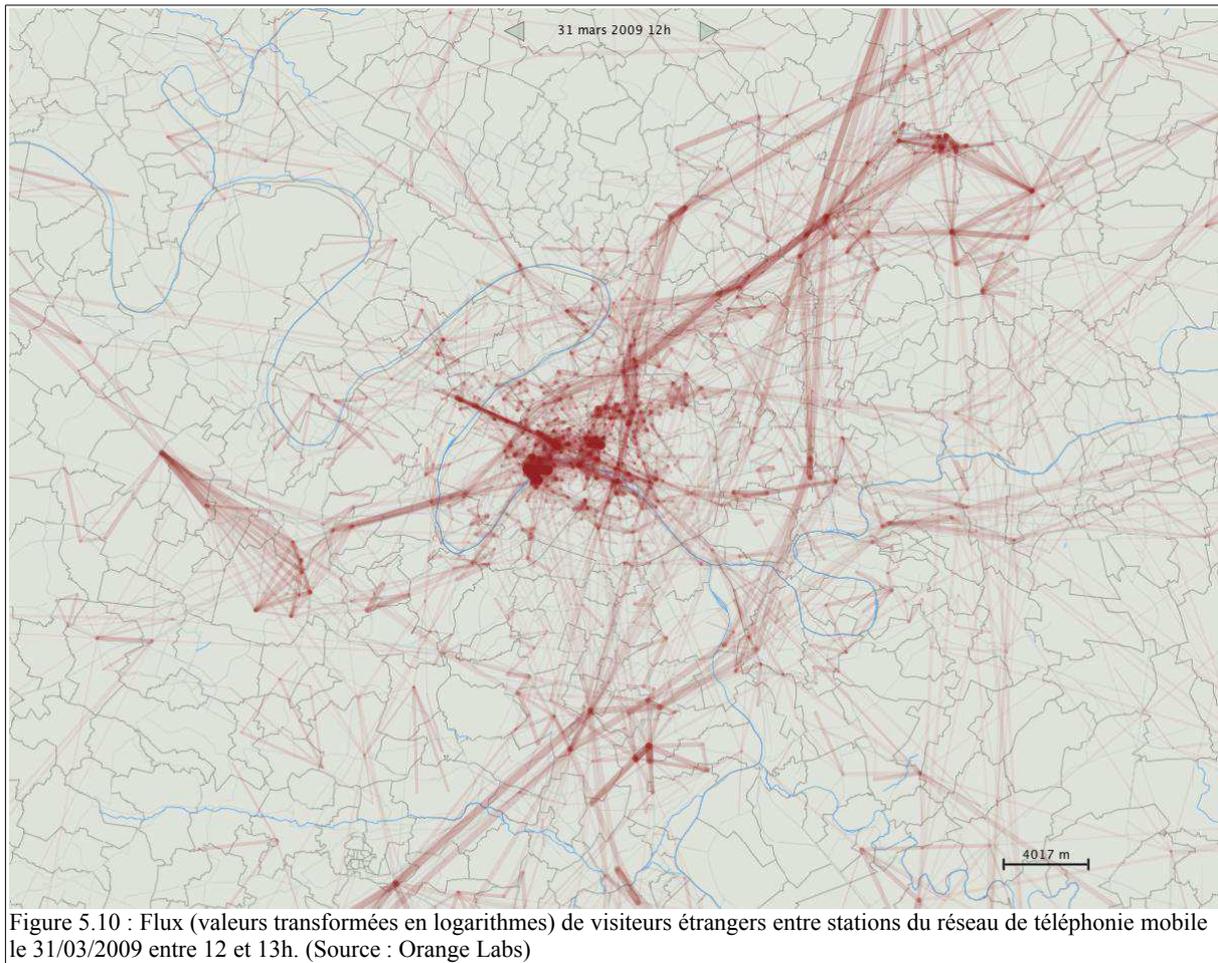


Figure 5.9 : Flux (valeurs transformées en logarithmes) de visiteurs étrangers entre stations du réseau de téléphonie mobile le 31/03/2009. (Source : Orange Labs)



- Les aéroports, des pôles d'attraction combinant transport et services

Les plateformes aéroportuaires d'Orly et de Charles de Gaulle (Figure 5.11) affichent au fil de la journée une importante présence étrangère sur le réseau de téléphonie mobile. A 8h du matin, le nombre de visiteurs étrangers est peu important dans Paris centre (Figures 5.9 et 5.11). Les visiteurs étrangers sont très présents autour de l'aéroport Charles de Gaulle et le long de l'axe reliant l'aéroport à Paris. Le grand nombre d'utilisateurs identifiés sur le réseau de téléphonie mobile Orange dans ces infrastructures aéroportuaires peut aussi s'expliquer pour deux raisons :

- en raison de la structure des données collectées. Comme expliqué dans le chapitre 3 (p.87), il existe différents événements qui donnent lieu à un enregistrement du téléphone portable auprès du réseau de téléphonie mobile. Parmi ces événements figurent le démarrage du téléphone portable et le changement de *Location Area*. Ces deux types d'événements ont des chances de se produire quand des visiteurs étrangers arrivent sur une destination étrangère, les téléphones devant être éteints lors du vol.

- les aéroports constituent aussi des lieux de polarisation, à la fois car ils constituent une infrastructure de transport nécessaire aux mobilités des visiteurs étrangers et aussi parce qu'ils sont à proximité de centres d'affaires (notamment dans le cas de l'aéroport Charles de Gaulle) utilisés par les visiteurs étrangers.

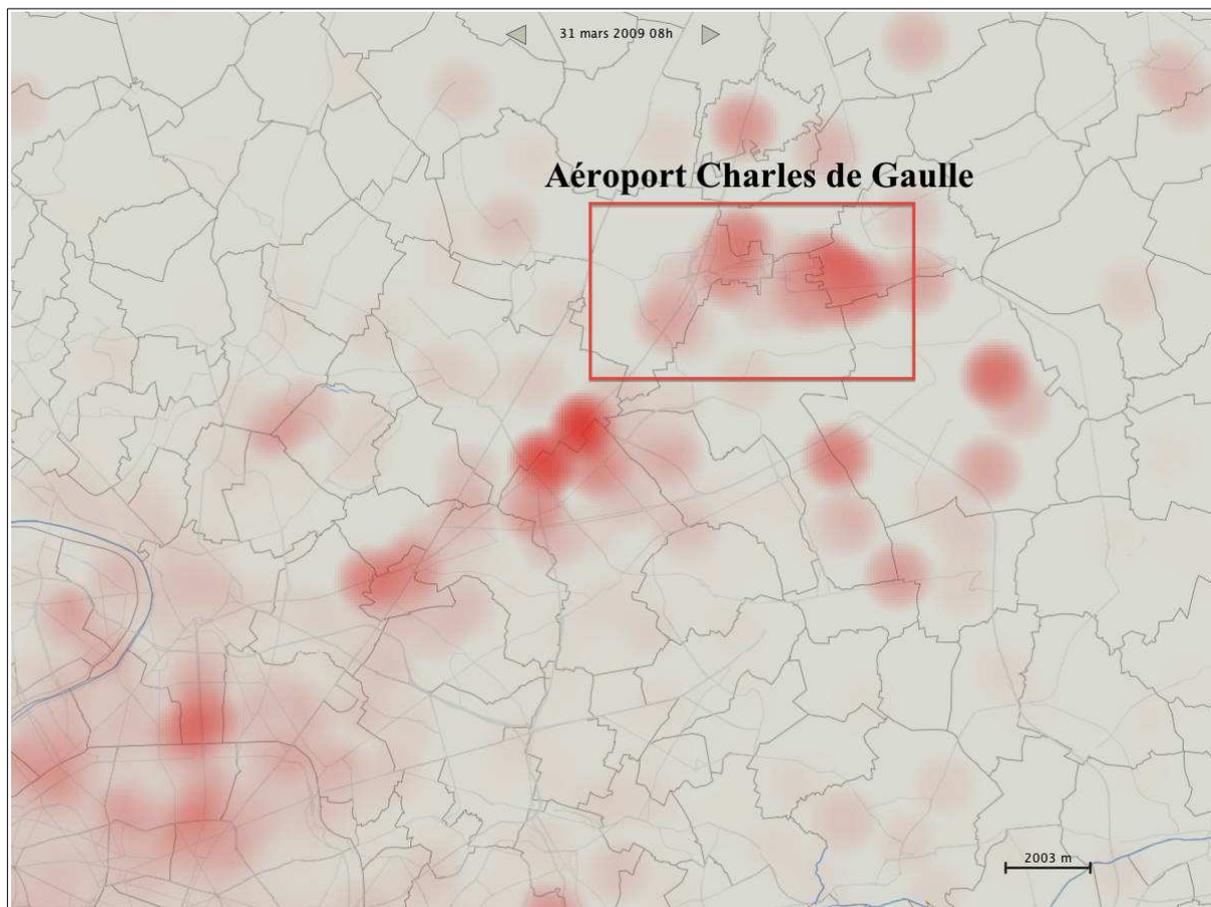


Figure 5.11 : Présence des visiteurs étrangers sur le réseau de téléphonie mobile entre 8h et 9h le 31/03/2009 dans le nord est de Paris (autour de l'aéroport Charles de Gaulle). Fenêtre de rayon de lissage : 2km. (Source : Orange Labs)

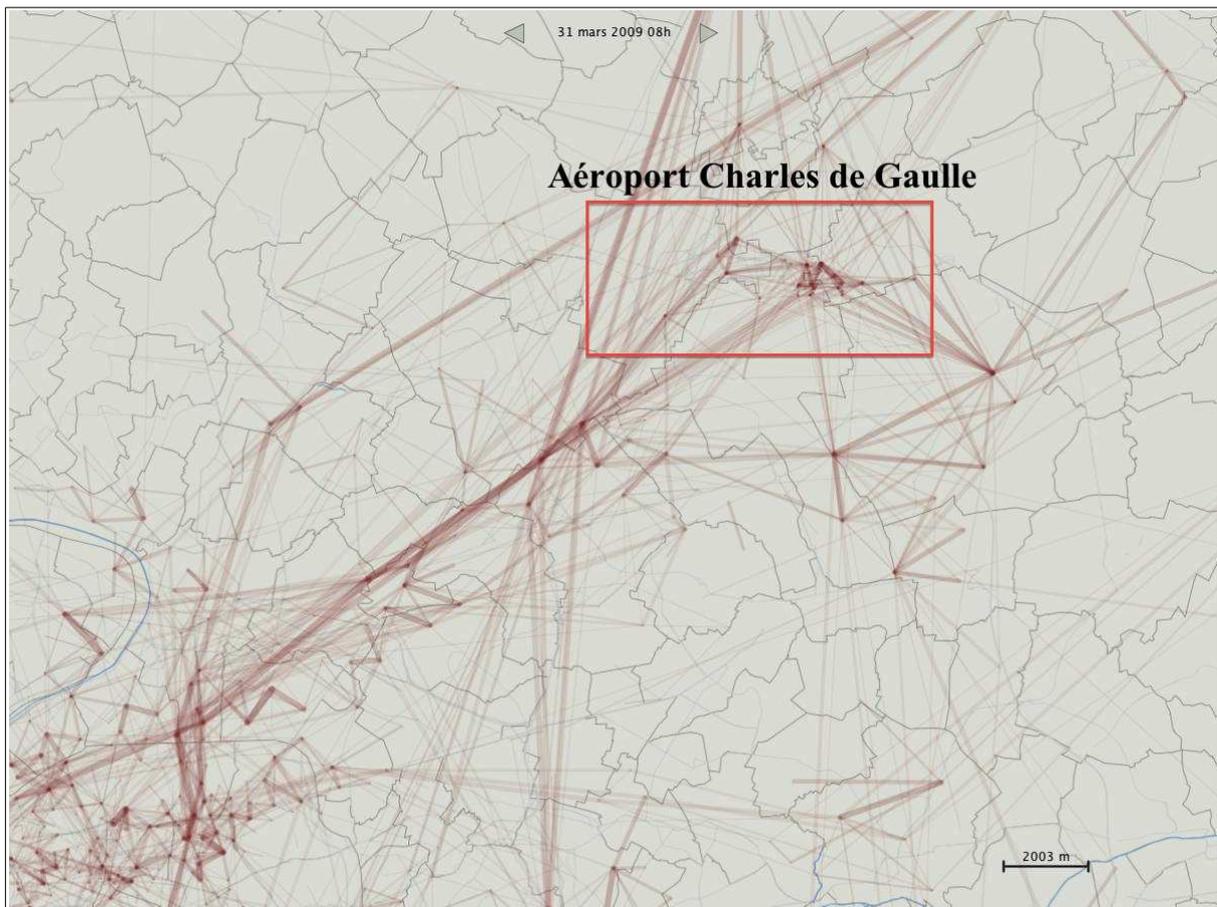


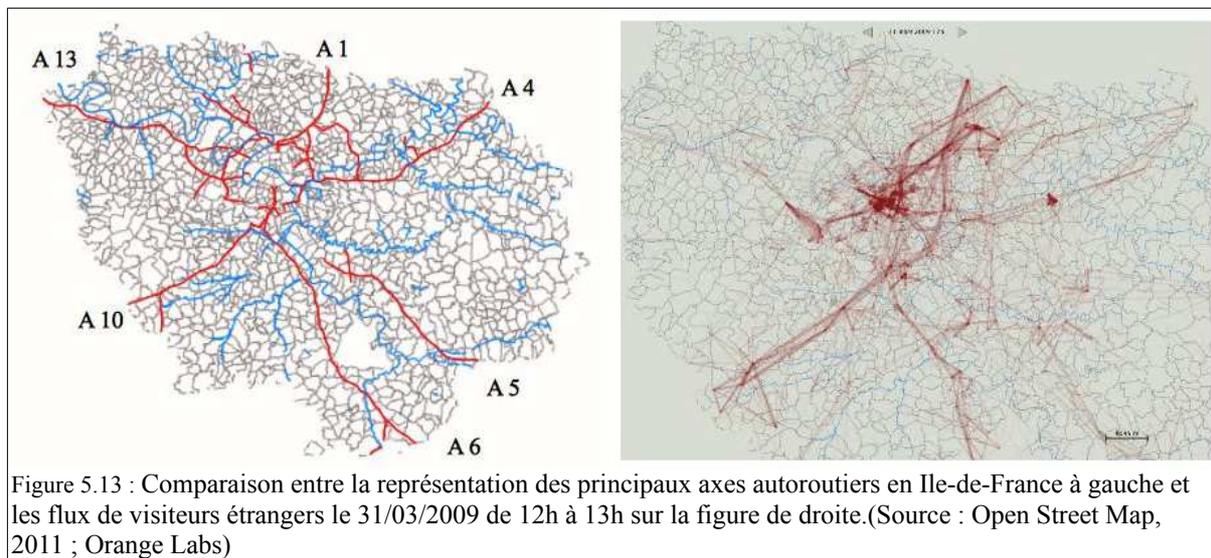
Figure 5.12 : Principaux flux de déplacements de visiteurs étrangers (en logarithme) autour de l'aéroport Charles de Gaulle, le 31/03/2009 entre 8h et 9h. (Source : Orange Labs)

Cette attractivité se vérifie à la fois par la présence, mais aussi par les déplacements (Figure 5.12).

Toutefois, ces pôles d'activité, ne sont pas les seuls attracteurs de l'espace urbain en périphérie. Les représentations du nombre de visiteurs étrangers dans la région Ile-de-France à différents moments de la journée et les représentations des flux de mobilité dans la région Ile-de-France montrent de nombreux pics de fréquentation et axes de déplacements le long des axes autoroutiers (Figures 5.7 et 5.9).

- Les déplacements le long des axes autoroutiers rappelant l'importance des flux traversant l'Ile-de-France

Les flux de visiteurs étrangers sont très observés le long des axes autoroutiers (Figures 5.12 et 5.13) comme l'A10 ou l'A6 dans le sud de la région parisienne, l'A4 à l'est et l'A1 au Nord.



Cette circulation est présente pendant toute la journée et la nuit (Figure 5.8). Ces flux de visiteurs étrangers empruntant les axes autoroutiers rappellent que la plupart des visiteurs étrangers qui se rendent sur le territoire français sont des « excursionnistes »⁶¹ et ne restent qu'une journée pour du transit. La situation d'interface du territoire francilien et de la France entre l'Europe du Nord et du Sud peut expliquer cette quantité importante d'excursionnistes. Ces visiteurs étrangers pourraient être à la fois des touristes en transit, des voyageurs d'affaire ou des transporteurs se rendant du Nord de la France ou de l'Europe au sud.

61 D'après la terminologie de l'INSEE.

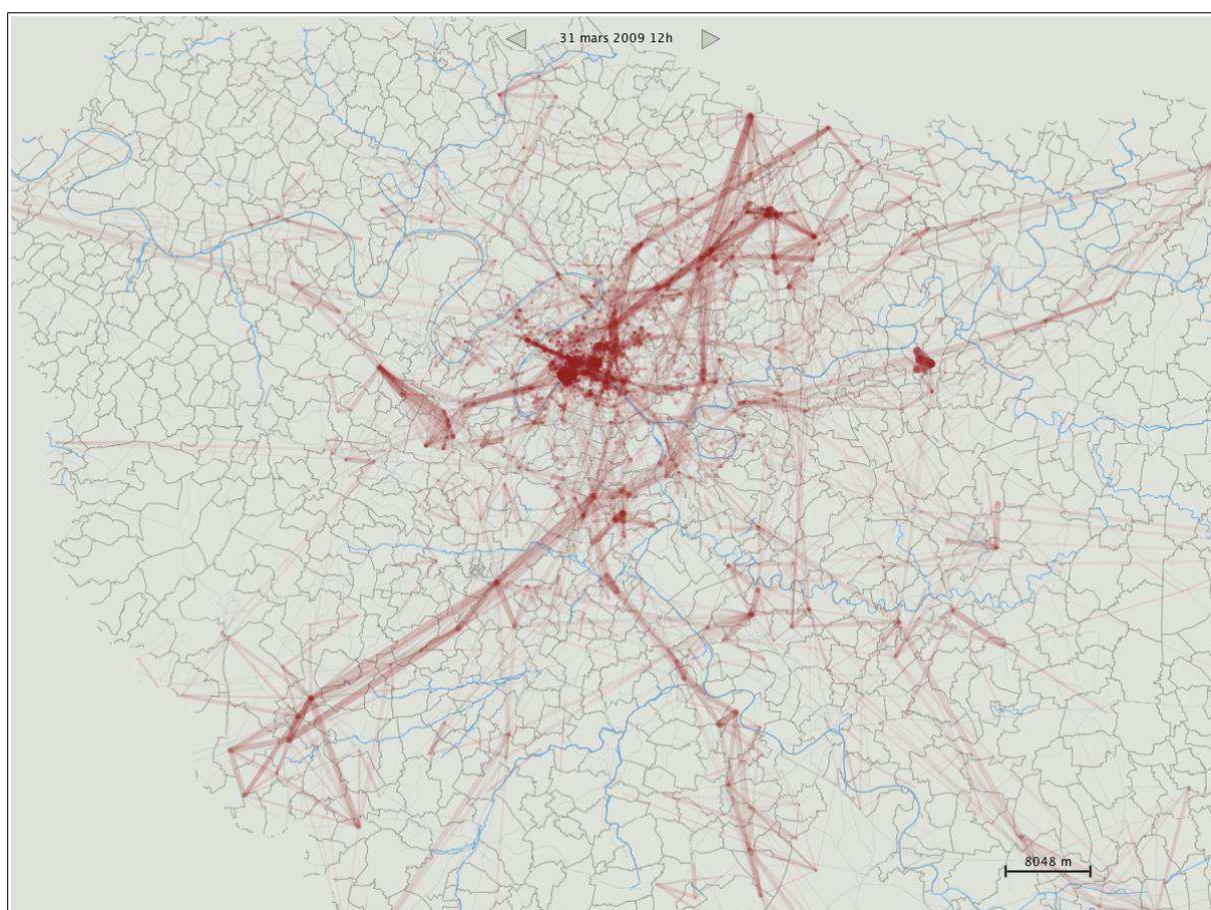


Figure 5.14 : Flux (valeurs transformées en logarithmes) au sein de l'Ile de France entre 12h et 13h le 31/03/2009. (Source : Orange Labs)

Ces flux au sein de la région peuvent aussi s'expliquer par la dimension multiscalaire de l'espace touristique francilien et la réduction des distances-temps. Le cœur touristique parisien peut ainsi servir d'appui à la visite d'autres régions de France. En effet, la situation d'interface de la région et la concentration des infrastructures de transport de rayonnement international autour de Paris explique cette capacité l'espace parisien à polariser autant qu'à émettre des flux de visiteurs étrangers. La région Ile-de-France devient alors une région d'émission. De nombreux visiteurs prennent appui sur la situation centrale de Paris pour visiter des sites touristiques beaucoup plus éloignés. Ainsi, une étude réalisée à partir des *flyers* dans les hôtels parisiens (Duhamel et Knafou, 2007) illustre cette capacité de Paris à fournir une accessibilité à des sites éloignés comme les Châteaux de la Loire, ou Bruges (Tableau 5.1).

Opérateurs touristiques	Durée de l'excursion, heure départ, heure arrivée		Prix proposés en euros		Jours d'excursion	
			Bruges	Chât. Loire	Bruges	Chât. Loire
France-Tourisme	Bruges 7h15-19h15	Chât. Loire 7h15-19h15	95	90	Mardi, Vendredi	Mercredi Vendredi Dimanche
Paris-Vision	Bruges 7h15-20h50	Chât. Loire 7h15-19h15	124	149 (déjeuner inclus)	Jeudi, Vendredi, Dimanche	Mardi Jeudi Samedi

Tableau 5.1 : L'accessibilité touristique à Paris (Source : Duhamel, Knafou, 2007, p.59)

Ces sites touristiques sont accessibles en une journée depuis Paris, accentuant ainsi l'offre touristique disponible à partir de Paris et expliquant peut-être certains déplacements qu'on peut observer.

Le fonctionnement de la métropole est bien un fonctionnement à plusieurs niveaux, avec un coeur historique où se concentrent les visiteurs étrangers, des pôles périphériques à la fréquentation très importante, et entretenant des relations avec des sites lointains, situés parfois dans un autre État européen.

L'observation des visiteurs étrangers, non seulement dans le cœur touristique de Paris, mais sur ces axes de transport est accessible à partir de données de téléphonie mobile, venant ainsi combler le manque d'information sur ce type de déplacements à l'échelle du territoire national.

V.3. Des pratiques variées en terme d'activité

Les traces laissées par les visiteurs étrangers confirment l'organisation de l'espace touristique francilien. Mais leur inscription temporelle, outre nous apporter des informations sur l'organisation spatio-temporelle de l'espace régional, peut aussi nous informer sur la diversité des pratiques : diversité de l'espace parcouru en fonction du temps passé sur le territoire de visite, mais aussi diversité des lieux visités.

Il existe une réelle diversité des pratiques des visiteurs étrangers, diversité que l'on serait tenté d'inférer à partir des données de téléphonie mobile. La connaissance de ces pratiques est essentielle car elle définit le statut de ces visiteurs. D'après l'INSEE et la définition de l'Organisation Mondiale du Tourisme, seuls les visiteurs étrangers se rendant sur un autre territoire que leur territoire de résidence pour effectuer des activités non rémunérées sont considérés comme touristes.

En effet, à partir d'une connaissance préalable sur les lieux touristiques, il est possible

d'inférer les activités des visiteurs (Spaccapietra, Parent, Damiani et alii, 2008). Cette connaissance est particulièrement utile dans un domaine opérationnel comme celui de l'aménagement du territoire ou de l'offre de services urbains.

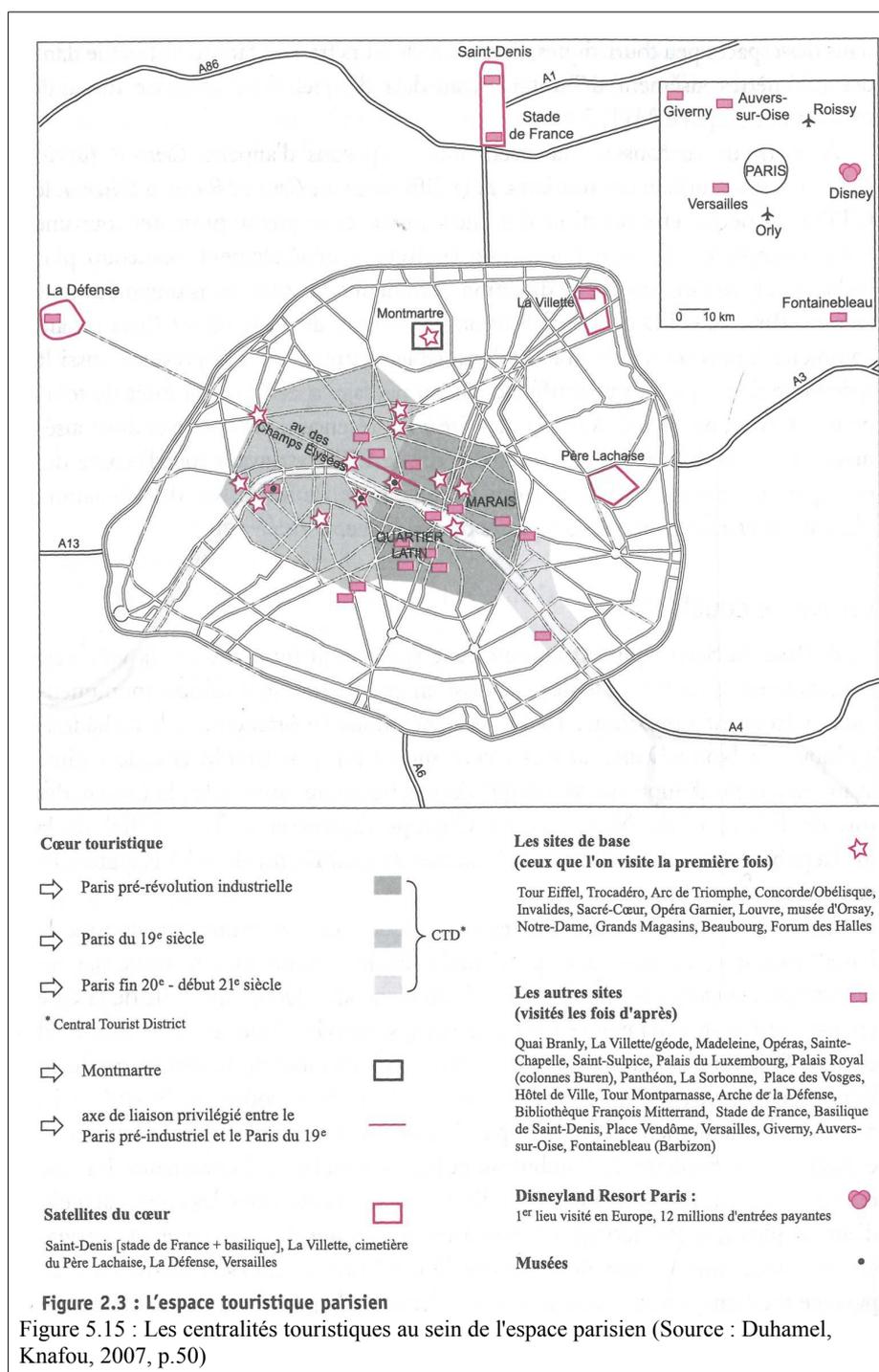
Cet exercice est difficile car c'est un exercice de reconstruction s'appuyant sur de nombreuses hypothèses concernant les pratiques des visiteurs étrangers et les usages de l'espace. Dans le cadre d'un travail collectif mené au sein du laboratoire d'Orange, nous nous sommes pourtant confrontés à cet exercice. Cette approche, bien que centrée sur un niveau d'analyse intermédiaire, s'appuie davantage sur les notions de la *Time-Geography* comme la notion de trajectoire individuelle, la notion d'arrêt, d'activité et les différentes contraintes qui pèsent sur les mobilités des individus (voir chapitre 2, p.53).

Toutefois, cette caractérisation des visiteurs en fonction de leurs activités soulève des difficultés méthodologiques :

- les données permettent d'estimer des présences d'utilisateurs sur le réseau de téléphonie mobile et pas au sein du territoire entier. Par ailleurs, les usages du téléphone portable en situation de mobilité internationale ne sont pas les mêmes que les usages du téléphone au quotidien. Il existe donc ici une part d'incertitude supplémentaire.
- il existe une grande part d'incertitude sur les trajets réellement effectués par les visiteurs étrangers et inférer leurs activités à partir de leurs traces numériques suppose de nombreuses hypothèses sur leurs pratiques.
- Des pratiques variées en fonction de la durée du séjour

Dans un premier temps, caractériser la temporalité du séjour permet de définir un premier niveau de diversité au sein des individus.

La temporalité du séjour est un élément déterminant dans les pratiques de mobilités des visiteurs. Dans la littérature, la temporalité du séjour, en tant qu'évènement qui se répète dans le temps, s'inscrit sur le long terme, par la succession des visites dans une même destination. Elle peut aussi s'inscrire dans le temps du séjour, dont la durée influe sur les mobilités des visiteurs. La connaissance préalable de la destination influence les pratiques spatiales des visiteurs étrangers (Freytag, 2008). Les *repeaters* auront tendance à parcourir un espace plus vaste et à s'aventurer dans des sites touristiques moins emblématiques.

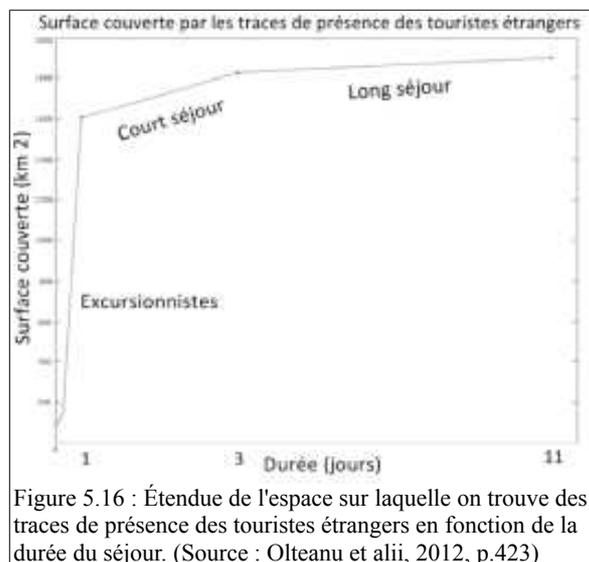


La cartographie des centralités touristiques dans l'espace parisien (Figure 5.15) révèle que les sites visités la première fois font majoritairement partie de l'hypercentre touristique tandis que les secondes visites permettent de s'éloigner du centre parisien pour se diriger vers des sites plus périphériques.

Quand elles sont collectées sur une longue période, les données de téléphonie mobile

permettent de compter les *repeaters* (Kuusik, Tiru, Ahas et alii, 2011) et de mesurer l'impact de leur connaissance préalable sur leur rapport au territoire visité. Néanmoins, dans notre cas, les données de téléphonie mobile ne concernent que quelques jours et ne permettent pas de mesurer cet aspect.

La temporalité du séjour, en tant que durée, peut nous donner davantage d'information sur le lien entre le temps passé dans une destination et la diversité de l'espace parcouru. La figure 5.16 montre l'étendue du territoire francilien couvert par les traces issues des téléphones portables des visiteurs étrangers en fonction de leur durée de séjour. La durée de séjour est calculée à partir de la première et de la dernière trace laissée par un visiteur. L'étendue parcourue par les voyageurs étrangers augmente avec la durée de séjour. Ce résultat confirme la cartographie réalisée par P. Duhamel et R. Knafou (Figure 5.15). L'allongement du temps passé sur le lieu de destination permet d'agrandir la surface d'investigation. En cas de court séjour, les individus se restreignent probablement aux mêmes sites touristiques que ceux identifiés par P. Duhamel et R. Knafou comme les sites visités en priorité lors du premier séjour. Mais le principal seuil se situe entre ceux qui ne restent que quelques heures, probablement pour du transit, qui oblige à rester confiné dans le lieu du transit, et ceux qui restent plus d'une journée. Ceux-ci ont une surface de visite beaucoup plus réduite que ceux qui restent pour quelques jours.



Les pratiques des visiteurs sont donc le plus souvent concentrées dans l'espace, obéissant aux contraintes de conjonction de la *Time-Geography* (cf chapitre 2, p.53). Afin d'affiner cette connaissance, il est possible de reconstruire les activités des usagers en s'appuyant sur des hypothèses concernant les lieux dans lesquels les visiteurs sont enregistrés comme présents par le réseau de téléphonie mobile.

- Comment définir les lieux dans lesquels les visiteurs exercent des activités ?

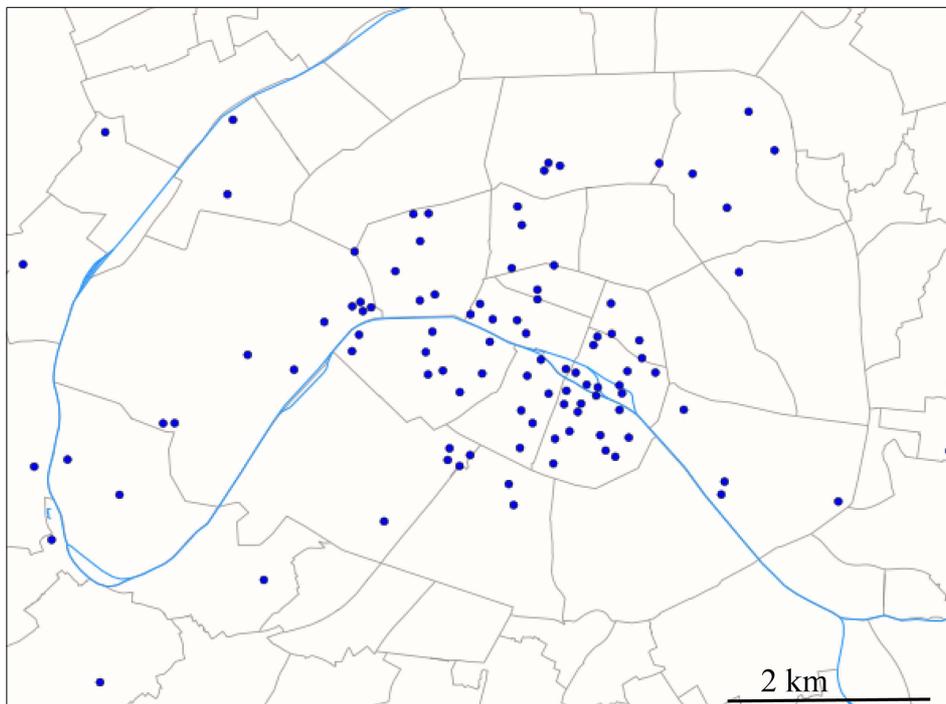
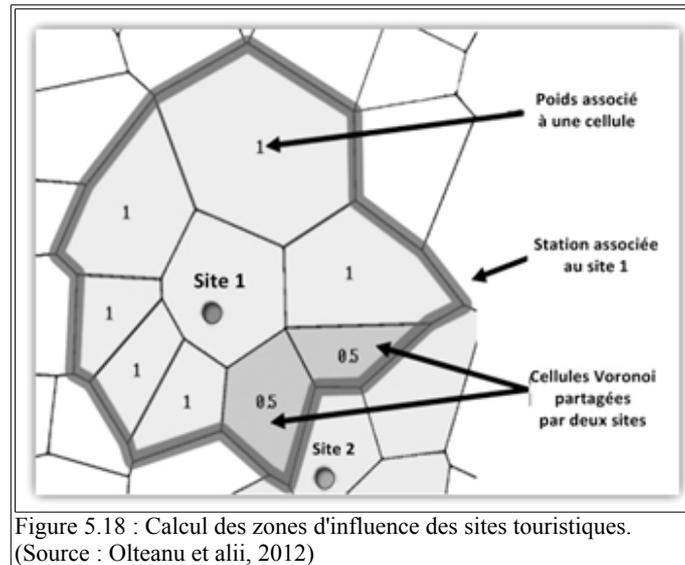


Figure 5.17 : Localisation des sites touristiques dans Paris. (Source : Office du tourisme et des congrès de Paris)

Qualifier les pratiques des visiteurs étrangers dans le centre de Paris est un vrai défi en raison du caractère multifonctionnel des lieux visités. Afin d'estimer la fréquentation des sites touristiques en Ile-de-France à l'aide de données de téléphonie mobile, A.-M.Olteanu et alii (2012) inventorient les sites touristiques existant en Ile de France. La liste de ces sites est définie par le site de l'Office du Tourisme et des Congrès de Paris. Elle comporte 164 sites touristiques, dont une centaine sont dans Paris intra-muros (Figure 5.17). Une fois ces sites identifiés, l'attribution de l'activité « visite du site » se fait en fonction de plusieurs critères, dont le critère d'un arrêt probable de l'individu dans la zone d'influence du site touristique. Dans le chapitre 1 (p.17), nous avons rappelé rapidement les techniques d'identification des arrêts au sein de trajectoires individuelles. Ici, les arrêts sont définis en fonction de lieux prédéfinis : les sites touristiques et leur zone d'influence.

La zone d'influence du site touristique est définie en fonction de sa localisation par rapport au réseau de téléphonie mobile. Autour des stations du réseau de téléphonie mobile sont calculés des polygones de Voronoï (Figure 5.18). La zone d'influence du site touristique comprend le polygone de Voronoï dans lequel ce site se trouve ainsi que ses voisins proches. Dans le cas où un polygone de Voronoï serait partagé entre plusieurs sites touristiques, un coefficient de pondération est attribué pour calculer les effectifs associés à chaque zone d'influence des sites touristiques.



Dans un second temps, des stations sont attribués aux individus qui sont, à un moment donné, localisés dans ces zones d'influence des sites touristiques (Figure 5.18). Pour cela, plusieurs critères ont été utilisés (Alvares et alii, 2007 ; Olteanu et alii, 2012):

- la période de visite du site doit correspondre aux horaires d'ouverture de ce site, conformément aux contraintes d'autorité de la *Time-Geography*
- la durée minimale de stationnement doit être de 60 minutes.

L'utilisation d'un tel algorithme implique de décider à l'avance des sites visités et limite donc l'étude des pratiques de mobilité à ces seuls éléments. Toutefois, la délimitation des zones d'influence des sites touristiques (et la pondération en cas de proximité entre deux sites) ne prend pas encore compte la différence d'attractivité possible entre différents sites touristiques. A titre d'exemple, le musée du Louvre n'attire pas autant de visiteurs que le musée de l'Orangerie situé à proximité.

Une autre anomalie possible à partir de cet algorithme est de ne considérer que certains sites et donc des pratiques attendues de la part des visiteurs étrangers. Les visites et les arrêts sortant de ce cadre ne seront pas pris en compte, limitant ainsi notre capacité à justement décrire la diversité des pratiques. Pour autant, cette méthode d'estimation de la fréquentation des sites touristique a montré que les distributions observées au sein de la fréquentation des sites touristiques pouvaient être retrouvées à l'aide de données de téléphonie mobile.

• La validation des résultats par la comparaison avec les données officielles

Cette méthode permet en effet d'estimer de manière relative les fréquentations des sites dont la fonction touristique est exclusive d'Ile-de-France (Olteanu et alii, 2012). En comparant les résultats obtenus avec les sites touristiques les plus fréquentés d'après les données du Comité de Tourisme Régional⁶², on observe une relation forte entre les deux hiérarchies (Tableau 5.2). Dans les deux cas, on retrouve en bonne position les principaux pôles d'attraction identifiés par P. Duhamel, R. Knafou (2007), T. Freytag (2008) et D. Pearce (1998) : Disneyland, le Sacré-Cœur, la Tour Eiffel, Notre-Dame de Paris, le Centre Pompidou.

Site	Décile Référence	Décile GSM	Comparaison
Disneyland Resort Paris	10	10	Même classement
Sacré-Cœur de Montmartre	10	10	
Tour Eiffel	10	10	
Notre-Dame de Paris	10	10	
Musée du quai Branly	10	10	
Centre Pompidou	10	10	
Le PANTHÉON	9	9	
Arc de Triomphe	9	9	
Musée national du moyen age	8	8	
Institut du monde arabe	8	8	
Domaine de Versailles	10	9	Classement proche
Cité des sciences et de l'industrie	10	9	
Musée d'art moderne de la ville de Paris	9	10	
Musée Rodin	9	10	Classement différent
Musée Carnavalet	9	10	
Musée du Louvre	10	7	
Musée national d'histoire naturelle	10	6	
Musée d'Orsay	10	2	

Tableau 5.2 : Comparaison entre la hiérarchie de fréquentation des sites touristiques obtenues avec des données de téléphonie mobile et avec des données de l'office du tourisme. (Source : Olteanu et alii, 2012)

Les deux classements sont très proches. Il existe pourtant des résultats très différents notamment dans le cas du musée du Louvre, ou du musée d'Orsay qui apparaissent en moins bonne position dans la hiérarchie des sites touristiques visités calculés à partir de données de téléphonie mobile. Dans les deux cas, la proximité entre ces deux musées et d'autres sites touristiques peut expliquer les résultats.

La quantification du nombre de visiteurs présents, même quand elle s'inscrit en relatif et pas en valeur absolue montre donc des limites peut-être liées à la granularité spatiale de l'interprétation. Pour continuer ce travail, il faut approfondir davantage la question de

62 <http://www.nouveau-paris-ile-de-france.fr/>
Site du Comité du Tourisme Régional

l'attribution d'activité et du contexte spatial dans lequel a lieu l'arrêt de l'individu et peut être s'affranchir du découpage du réseau de téléphonie mobile et d'une logique de sites touristiques pour raisonner davantage en terme de territoire continu.

La variété de ces sites touristiques, du temps qu'un visiteur peut y passer et la diversité des autres fonctions urbaines présentes dans Paris centre, rend très difficile l'affectation d'une activité de type « visite ». En effet, les activités des visiteurs étrangers ne se limitent pas à la visite des sites touristiques (30% des activités déclarées lors de l'enquête sur les visiteurs étrangers 2005). Les visiteurs internationaux se consacrent aussi à la promenade, ce qui fait sens dans l'espace parisien où l'architecture et les monuments peuvent être explorés à pied. Ils peuvent aussi s'adonner à des achats ou visiter des proches (Ministère de l'artisanat, de l'économie et du tourisme, 2010).

Par ailleurs, la diversité des fonctions urbaines au sein de l'espace parisien nécessiterait de prendre en compte la proximité des différents attracteurs urbains, sites touristiques, mais aussi des quartiers d'affaires, et d'une offre commerciale dense et diversifiée (Mathian, Fleury et Saint Julien, 2012). La diversité de l'offre d'activités dans le centre de Paris nécessite donc la prise en compte d'indicateurs de diversité fonctionnelle pour qualifier l'espace. Néanmoins les découpages que sont le maillage du réseau de téléphonie mobile ou la répartition des sites attractifs doivent être dépassés pour pouvoir prendre en compte le phénomène d'attractivité à l'échelle de l'espace parisien, si ce n'est francilien.

L'analyse spatiale fournit en ce sens de nombreux outils méthodologiques adaptés, comme par exemple, les méthodes d'estimation de potentiels permettant de s'absoudre des limites existantes et de prendre en compte des indicateurs supplémentaires comme la diversité des fonctions urbaines.

Conclusion du chapitre 5

Les visiteurs étrangers ont des pratiques de mobilité à priori très différentes de celles des franciliens. Il s'avère en réalité que ces pratiques sont fortement contraintes par l'organisation spatio-temporelle de l'agglomération parisienne.

La visualisation de la présence des visiteurs étrangers et des déplacements de ces derniers montre qu'ils occupent principalement le cœur touristique de Paris, révélant ainsi la dépendance de leurs mobilités à l'offre disponible, mais ils sont aussi très présents au sein d'un pôle périphérique comme Disneyland. A une autre échelle, la présence des visiteurs étrangers en Ile-de-France ne peut pas être réduite au confinement de ceux-ci dans l'hypercentre touristique. Au contraire, les visiteurs étrangers sont aussi très présents dans les infrastructures de transport comme les aéroports et sur les axes principaux de transport, confortant leur situation d'individus en mobilité. Les données de téléphonie mobile permettent d'obtenir de tels résultats, montrant ainsi leur utilité pour les gestionnaires de l'espace urbain.

Toutefois, l'analyse des pratiques au sein de l'espace urbain nécessite encore de mettre en œuvre des méthodes d'analyse spatiale que nous n'avons pas eu le temps de développer au cours de ce travail. Ainsi, la prise en compte de l'hétérogénéité de l'espace et de la diversité des fonctions urbaines pourrait enrichir l'interprétation de ces pratiques de mobilité.

Conclusion générale

L'un des objectifs de cette thèse était de tester la validité de l'utilisation de données de téléphonie mobile pour comprendre un phénomène spatio-temporel comme celui des mobilités. En ce sens, les différentes explorations menées au cours de cette thèse ont montré la pertinence de ces données pour l'observation de ce phénomène.

- *La validité des données : compenser l'imperfection par la quantité de données*

Une des hypothèses fortes de ce travail était qu'il était possible de compenser en partie, sinon la mauvaise qualité, du moins l'inadéquation d'une information relative à la mobilité des personnes, par le caractère massif de ces informations qui peuvent être analysées par ailleurs, de manière très détaillée dans l'espace et dans le temps. Nous avons en effet, vérifié que grâce à la multiplication des angles d'approche, il était possible de mettre en évidence des régularités des mobilités individuelles dans l'espace urbain, et ceci à l'échelle d'une grande agglomération pour des mobilités quotidiennes d'une part et pour des mobilités plus exceptionnelles d'autre part.

Les données de téléphonie mobile constituent un complément d'information extraordinaire par rapport aux enquêtes classiques. En effet, ces dernières présentent elles aussi de nombreuses imperfections. Elles ne permettent pas un suivi longitudinal des populations, et encore moins sur autant d'individus. Disposer de données au niveau individuel permet de s'affranchir des cadres classiques de l'analyse des mobilités, souvent déterminés par le niveau d'agrégation nécessaire pour que les données collectées prennent une signification statistique suffisante.

Par leur inscription dans l'espace et le temps, les données de téléphonie mobile permettent de s'interroger sur des processus spatio-temporels jusqu'ici inaccessibles avec les sources de données classiques. Elles permettent aussi d'appréhender des formes de mobilité plus locales ou plus exceptionnelles, à condition de leur appliquer une méthodologie adaptée.

Ces données constituent donc une source d'information importante pour les chercheurs, dont font partie les géographes mais aussi pour les décideurs. La possibilité de suivre en temps réel les individus permet d'imaginer des opérations futures de gestion des flux ou des situations d'urgence à l'aide de données de téléphonie mobile.

Dans une dimension moins prédictive, mais tout aussi utile pour les décideurs, à l'aide des outils de l'analyse spatiale, ces sources nouvelles d'information peuvent permettre de caractériser l'attractivité des lieux et de mesurer les interactions entre ces lieux.

Les données de téléphonie mobile apportent donc une information d'une assez grande richesse quant à la configuration des interactions entre les déplacements individuels et les lieux de

Conclusion générale

centralité ou les réseaux de circulation qui construisent l'espace urbain. Elles permettent de mieux comprendre comment les déplacements individuels construisent l'espace relationnel de la ville d'une part et d'autre part comment les structures fortes d'un territoire urbain retentissent sur l'expression de ces déplacements.

- *Des premiers résultats observables dans la région Ile-de-France*

L'observation des mobilités au sein de la région Ile-de-France a permis de valider la pertinence des données de téléphonie mobile. En effet, au sein de la région Ile-de-France, les données de téléphonie mobile permettent d'abord de restituer une image fine de la spatialité des déplacements : ceux-ci sont les plus intenses le long des axes de transports tels que la ligne du RER A reliant le bassin résidentiel de l'est parisien aux lieux d'emplois tels que le centre de Paris ou le centre d'affaires de la Défense. Les données de téléphonie mobile permettent surtout de bien préciser quelles sont les temporalités des déplacements à des échelles très fines. Les déplacements obéissent à des régularités temporelles : plus intenses aux heures de pointe la semaine, ils sont beaucoup moins importants le samedi matin car la nécessité de se rendre sur le lieu de travail est moins importante. Ces déplacements sont concentrés dans le cœur de l'agglomération parisienne, qui concentre à la fois les hommes, les axes de transport mais aussi les lieux d'emploi. Pourtant l'importance de ces flux dominants ne permet pas d'occulter l'existence d'autres structures, davantage fondées sur des logiques de proximité, comme nous tentons de le montrer en utilisant des méthodes d'agrégation et qui semblent davantage résister face au poids des déplacements domicile-travail du matin et du soir.

En outre, la disponibilité d'une information sur les visiteurs étrangers a permis de s'intéresser à une sous-population spécifique. L'observation montre que les pratiques des visiteurs étrangers sont soumises à des contraintes d'emploi du temps autant, voire plus, contraignantes que celles des franciliens. Ces pratiques, bien qu'a priori moins déterminées dans leurs expressions spatiales, sont pourtant fortement contraintes par l'offre touristique. Celle-ci articule des grandes infrastructures de transport aussi bien que des hauts-lieux attractifs. Ainsi, les concentrations d'individus et les déplacements sont polarisés par les infrastructures de transport comme les aéroports mais aussi par les sites touristiques majeurs situés dans le centre de Paris ou par le site touristique au fonctionnement quasi autonome que constitue Disneyland Paris. Les résultats obtenus par les données de téléphonie mobile viennent ainsi confirmer les analyses présentées par les auteurs spécialistes du tourisme parisien (Duhamel, 2007) et par les visualisations offertes à partir d'autres données numériques géolocalisées comme les données issues du site Flick'R (Girardin et alii, 2008).

L'exploration des mobilités au sein de la région Ile-de-France à l'aide de données spécifiques a

été permise grâce au développement d'outils et à l'adaptation de méthodes spécifiques :

- des outils de visualisation développés en collaboration étroite avec un ingénieur stagiaire
 - des outils analytiques utilisés dans le cadre de l'analyse des réseaux.
- *La question des échelles spatio-temporelles*

L'analyse des mobilités à partir de données individuelles comme les données de téléphonie mobile a permis de s'interroger sur les relations entre l'échelle spatio-temporelle des objets observés et le type d'information inférée. En effet, les données de téléphonie mobile, vu leurs imperfections ne sont pas adaptées pour la production d'informations brutes à l'échelle individuelle. A l'inverse, avec des niveaux d'agrégation différents, et à des échelles d'observation spatio-temporelles différentes, nous avons pu faire apparaître certains types d'informations :

- Par exemple, les données de téléphonie mobile sont particulièrement bien adaptées pour des mesures de trafic multimodal à l'échelle des déplacements interrégionaux.

En effet, dans un espace urbain dense, les différentes formes de mobilité sont très imbriquées dans l'espace et dans le temps alors qu'en élargissant le territoire d'observation pour s'intéresser à des formes de mobilité qui peuvent se déployer sur des distances plus grandes, on sépare mieux ce qui relève des différents modes de déplacements.

- Elles permettent aussi de comprendre l'organisation des mobilités à l'échelle d'une région comme la région Ile-de-France.

L'échelle de la région Ile-de-France bien que déjà très grande permet une appropriation sur un espace manipulable dans le cadre d'une thèse. Il est pourtant bien évident que pour la téléphonie mobile et l'étude des mobilités, les limites régionales sont arbitraires. L'agglomération parisienne suscite des flux de mobilité dépassant les limites régionales, comme on peut l'observer avec les migrations pendulaires entre les départements limitrophes des autres régions et la région parisienne. Ainsi, pour prendre en compte le fonctionnement d'une agglomération de cette taille, il conviendrait de prendre des limites beaucoup plus larges que les simples limites régionales.

Tout comme le niveau d'analyse spatiale détermine les processus identifiables, le niveau d'observation temporelle détermine les processus observables. La disponibilité d'une quinzaine de jours permet de s'intéresser aux mobilités quotidiennes qui sont un des aspects des déplacements de population mais pas le seul. La disponibilité de périodes plus longues permet aux chercheurs de s'intéresser à des dynamiques à moyen terme comme les migrations saisonnières, les mobilités résidentielles ou les répétitions de visite des visiteurs étrangers.

De même la qualification des mobilités quotidiennes à partir d'un échantillon de deux semaines permet plus difficilement de mettre en avant les caractéristiques de ces dernières.

Conclusion générale

- *L'importance de la relation université-entreprise et du contexte interdisciplinaire*

Une telle thèse n'aurait pas pu être menée à bien sans un partenariat réussi entre :

- un laboratoire de recherche et développement d'une grande entreprise, Orange, disposant de compétences empiriques et théoriques liées aux usages de la téléphonie mobile,
- un laboratoire spécialisé dans l'analyse des processus spatio-temporels, l'UMR Géographie Cités disposant de compétences dans le traitement et l'analyse de l'information géographique,
- un groupement d'intérêt scientifique, l'ISC-PIF favorisant les échanges interdisciplinaires autour des systèmes complexes.

De prime abord, les données de téléphonie mobile sont insatisfaisantes mais grâce à de tels partenariats, il est possible d'aller plus loin dans leur valorisation. Cette valorisation est possible en mettant en œuvre des moyens relevant de l'interdisciplinarité entre les sciences sociales et des sciences « dures » comme la physique ou l'informatique et de compétences en ingénierie: utilisation des concepts de la géomatique, développement d'outils de visualisation plus sophistiqués, utilisation des méthodes issues de l'analyse des réseaux.

- *Les perspectives de recherches futures*

L'analyse des données de téléphonie mobile a montré sa pertinence pour l'étude des mobilités au sein de l'espace urbain. Les pistes de recherche s'ouvrant à la fin de cette thèse sont nombreuses :

- L'utilisation des données de téléphonie mobile pour qualifier des contextes d'attractivité via la connaissance des contextes locaux et de la fréquentation des stations du réseau de téléphonie mobile est une piste de travail intéressante pour développer des outils opérationnels.
- De même, l'utilisation des outils d'analyse des réseaux et plus particulièrement des réseaux dynamiques est une perspective de recherche intéressante.
Les outils tels que la détection de communauté paraissent particulièrement adaptés pour faire ressortir des interactions locales et répondre ainsi à des problématiques actuelles sur le rôle de la proximité dans l'organisation de l'espace urbain et des pratiques de mobilité.
Elle nécessite cependant des collaborations scientifiques et une quantité d'information qui dépassent le cadre d'une thèse.
- Mesurer le changement reste un des enjeux majeurs de l'analyse des réseaux

dynamiques mais aussi de l'analyse géographique. Ainsi, sur un plan méthodologique et conceptuel, il serait intéressant de continuer à formaliser l'interaction entre les différents niveaux d'observation spatiale et temporelle et les phénomènes observés à partir de données individuelles de téléphonie mobile.

Annexes

Annexe A : Extraction des données agrégées

*** Script en langage SQL pour créer une table énumérant les transitions entre BTS :

```
ALTER TABLE roaming_ordonnee_03_30 ADD id SERIAL;
```

```
CREATE TABLE transition_roaming_03_30
AS SELECT      b.id as bts0,
               r0.dt as dt0,
               b1.id as bts1,
               r.dt as dt1,
               r.dt-r0.dt as duree,
               r.imsi
FROM      btsdistincts b,
          btsdistincts b1,
          roaming_ordonnee_03_30 r
INNER JOIN roaming_ordonnee_03_30 r0
ON         r0.id=(r.id-1)
AND       r.lon != r0.lon
AND       r.lat != r0.lat
AND       r.imsi = r0.imsi
WHERE     r0.lat = b.lat
AND       r0.lon=b.lon
AND       r.lat =b1.lat
AND       r.lon=b1.lon
ORDER BY imsi, dt0, dt1
```

*** Exemple de temps de calcul : La requête a été exécutée avec succès en 2124978 ms, mais ne renvoie aucun résultat.

*** Pour avoir les segments de déplacement entre deux heures précises

```
SELECT      bts0,bts1, COUNT(imsi)
FROM transition_roaming_03_30
WHERE dt0>='2009-03-30 07:00:00' AND dt0<='2009-03-30 08:00:00'
AND dt1>='2009-03-30 07:00:00' AND dt1<='2009-03-30 08:00:00'
GROUP BY bts0, bts1;
```

*** Pour avoir tous les segments de déplacements en cours entre deux heures précises (ceux qui ont commencé avant (cas 2) ou ceux qui ont terminé après (cas 3), ceux qui ont commencé avant et se sont terminés après (cas 4), et ceux qui sont inclus dans les deux heures (cas1))

```
SELECT      bts0,bts1, COUNT(imsi)
FROM transition_roaming_03_30
WHERE dt0>='2009-03-30 07:00:00' AND dt0<='2009-03-30 08:00:00' AND dt1>='2009-03-30 07:00:00' AND
dt1<='2009-03-30 08:00:00' // cas 1
OR dt0<='2009-03-30 07:00:00' AND dt1>='2009-03-30 07:00:00' AND dt1<='2009-03-30 08:00:00' // cas 2
OR dt0<='2009-03-30 07:00:00' AND dt1>='2009-03-30 08:00:00' // cas 4
OR dt0>='2009-03-30 07:00:00' AND dt0<='2009-03-30 08:00:00' AND dt1>='2009-03-30 08:00:00' // cas 3
GROUP BY bts0, bts1;
```

*** Pour calculer le nombre d'identifiants présents par heure, réalisé avec l'aide d'Ana Maria-Olteanu

Annexes

```
CREATE TABLE nb_fr_ci_04_04_h0 as
select lat, lon, count(distinct imsi)as H0
from francais_04_04 where dt>='2009-04-04 00:00:00' and dt<='2009-04-04 01:00:00' group by lat, lon;
CREATE TABLE nb_fr_ci_04_04_h1 as
select lat, lon, count(distinct imsi)as H1
from francais_04_04 where dt>='2009-04-04 01:00:01' and dt<='2009-04-04 02:00:00' group by lat, lon;

CREATE TABLE nb_fr_bts_04_04 as
select c.id as bts,
       c.lon as lon,
       c.lat as lat,
       t1.h0 as h0,
       t2.h1 as h1,

from btsdistincts c
left outer join nb_fr_ci_04_04_h0 t1 on c.lat=t1.lat and c.lon=t1.lon
Left outer join nb_fr_ci_04_04_h1 t2 on c.lat=t2.lat and c.lon=t2.lon

Drop TABLE nb_fr_ci_04_04_h0;
Drop TABLE nb_fr_ci_04_04_h1;

UPDATE nb_fr_bts_04_04 SET h0= 0 WHERE h0 IS NULL;
UPDATE nb_fr_bts_04_04 SET h1= 0 WHERE h1 IS NULL;
```

Annexe B : Construction des graphes

Pour passer des fichiers texte .csv aux fichiers de graphes en .gexf
Scripts en langage python pour transformer les fichiers de segments de déplacements en graphes de flux (réalisé avec l'aide de Fabien Pfaender et de Julian Bilcke)

```
### import csv to Gexf graph file ###

import csv
import os
import sys
import re
import glob
from gexf import Gexf

# chemin vers le dossier des liens
path = '/Users/jfenchong/Documents/these/donnees/filtre_moins10/'

cpt = 1
for infile in glob.glob(os.path.join(path, '*.csv')):

    print " fichier : " + str(cpt)

    reader2 = csv.reader(open(infile,"rb2"))
    (PATH, FILENAME) = os.path.split(infile)
    (ShortName, Extension) = os.path.splitext(FILENAME)

    bts = {}
    temp = {}

    print str(bts)

    # chemin vers le fichier des bts
    reader1 = csv.reader(open("/Users/julie/these/donnees/bts.csv","rb1"))

    # CSV bts parsing
    for row in reader1 :
        array = row[0].split(',')
        id = str(array[2])
        lat = array[0]
        lon = array[1]
        bts[id]=(lat,lon)

    print str (bts)

    # create graph
    gexf = Gexf("Fabien & Julie & Quentin","paris french people whole day")
    graph = gexf.addGraph("directed","static","world graph map")

    # add Attribute
    latitude = graph.addNodeAttribute("lat", "0", "double")
    longitude = graph.addNodeAttribute("lon", "0", "double")

    edgeid = 1
    for row in reader2 :
```

```
# CSV edge parsing
array = row[0].split(',')
source = array[0]
target = array[1]
weight = array[2]

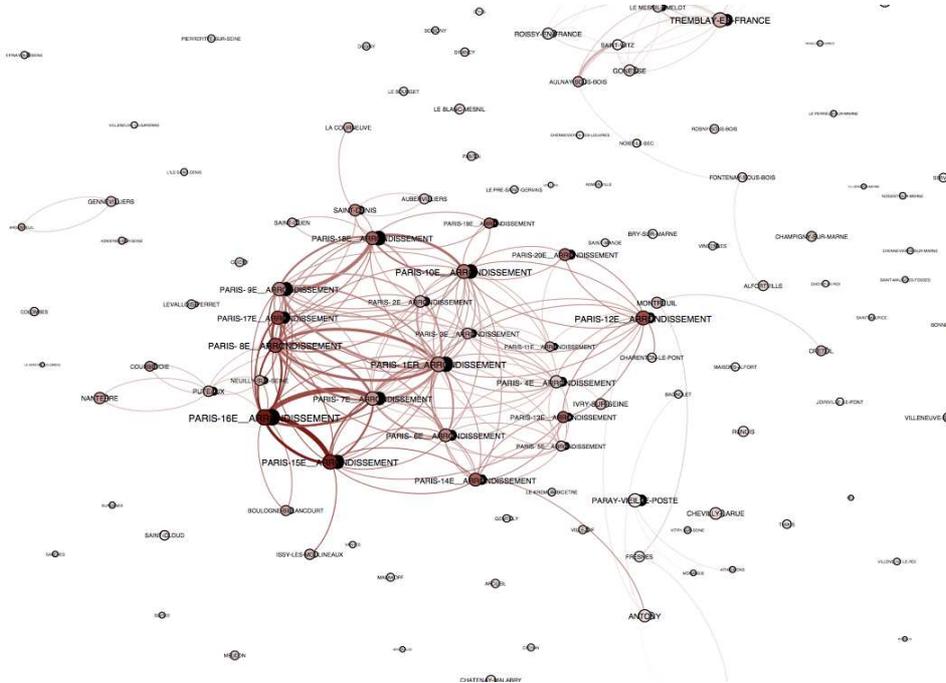
if source != "bts0" and target != "bts1" :
    # add node
    if source not in temp.keys():
        (lat,lon) = bts[str(source)]
        node = graph.addNode("%s" % str(source), "%s"% str(source))
        node.addAttribute(latitude, str(lat))
        node.addAttribute(longitude, str(lon))
        temp[source] = (lat,lon)
    if target not in temp.keys():
        (lat,lon) = bts[str(target)]
        node = graph.addNode("%s" % str(target), "%s"% str(target))
        node.addAttribute(latitude, str(lat))
        node.addAttribute(longitude, str(lon))
        temp[target] = (lat,lon)
    # add edge
    edge = graph.addEdge("%s" % edgeid, "%s" % str(source), "%s" % str(target), "%s"
% str(weight))
    edgeid += 1
    print edgeid

# write file
output_file=open("./gexf-24h" + "/" + ShortName + ".gexf", "w+")
from lxml import etree
bad_gexf = etree.tostring(gexf.getXML(),pretty_print=True,encoding='utf-8')
lines = bad_gexf.splitlines(1)
lines = lines[1:] # remove the rotten fruit
lines = [
'<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>\n',
'<gexf xmlns="http://www.gexf.net/1.2draft" version="1.2">\n'
] + lines
good_gexf = '\n'.join(lines)
output_file.write(good_gexf)
cpt = cpt + 1
```

Annexe C : Premières visualisations

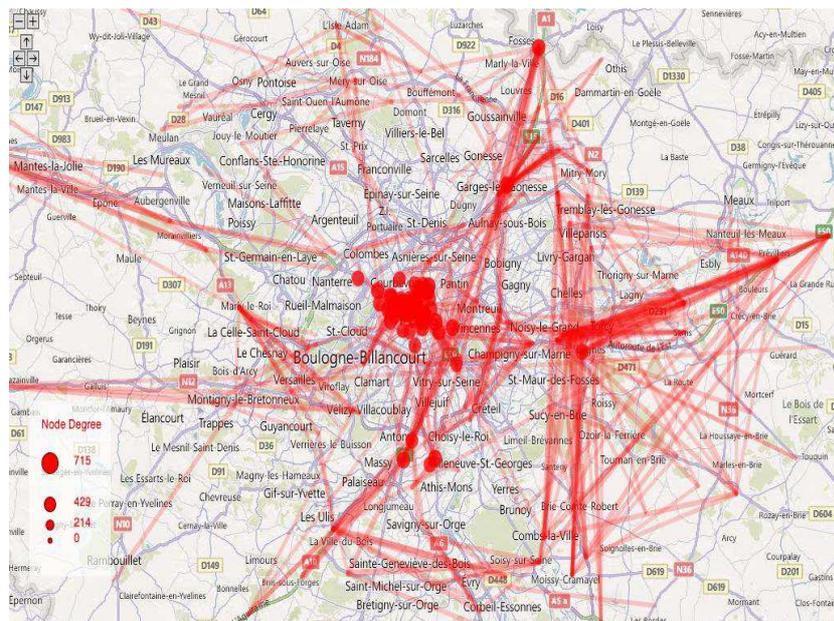
1) Les flux de déplacements entre communes

Après affectation des stations du réseau de téléphonie mobile aux communes de l'Ile-de-France.



Flux principaux entre communes d'Ile de France le 31/03/2009. Réalisé avec Gephi. (Source : Orange)

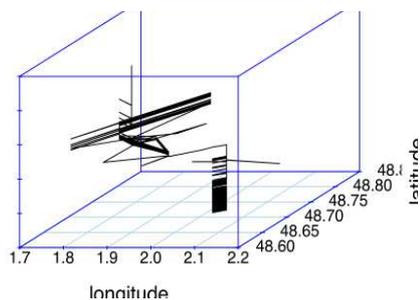
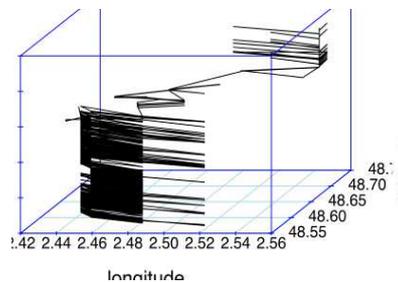
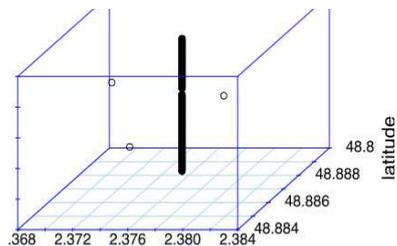
A partir du réseau de stations, sans affectation :



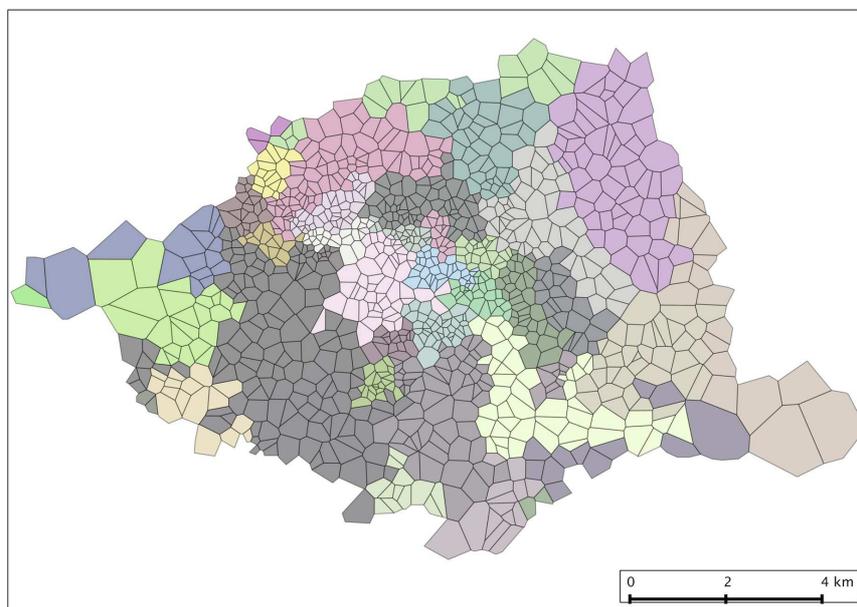
Flux de visiteurs étrangers le 31/03/2009 entre 8h et 12h (Source: Orange)

2) Les déplacements d'individus particuliers

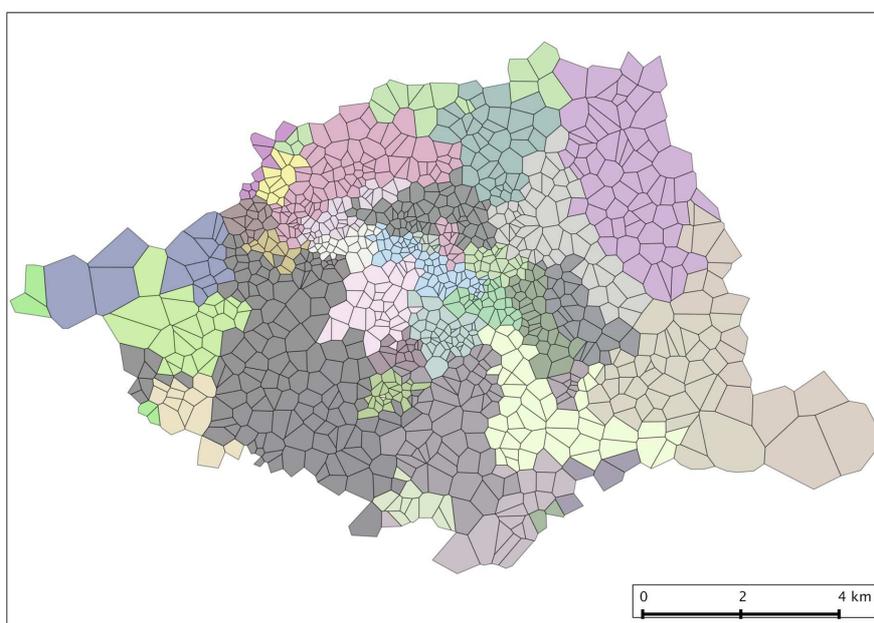
Trois trajectoires individuelles au cours d'une journée ont été ici représentées pour illustrer la complexité même de saisir des trajectoires individuelles à partir de données imparfaites.



Annexe D : Communautés de déplacements préférentiels entre stations du réseau de téléphonie mobile



Supra-communautés dans Paris le 31/03/2009 entre 17h et 21h



Supra-communautés dans Paris le 31/03/2009 entre 21h et 7h.

Bibliographie

AGUILÉRA A., GUILLOT C., BONIN O., 2009, "Mobile phone use and the management of individual reachability", in: *The Good, the Bad and the Challenging. The user and the future of information and communication technologies*. Copenhagen. Danemark, COST 298.

AGUITON C., CARDON D., SMOREDA Z., 2009, "Living Maps: New data, new uses, new problems", in: *Engaging Data. First International Forum on the Application and Management of Personal Electronic Information*. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, Massachusetts.

AHAS R., AASA A., SILM S., AUNAP R., KALLE H., MARK ., 2007, "Mobile Positioning in SpaceTime Behaviour Studies: Social Positioning Method Experiments in Estonia", *Cartography and Geographic Information Science*, vol.34, n°4, 259–273.

AHAS R., 2010, "From the Guest Editor: Mobile Positioning and Tracking in Geography and Planning.", *Journal of Urban Technology*, vol.17, n°1, 1–2.

AHAS R., AASA A., SILM S., TIRU M., 2010, "Daily rhythms of suburban commuters' movements in the Tallinn metropolitan area: Case study with mobile positioning data", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol.18, n°1, 45–54.

AHAS R., SILM S., JÄRV O., SALUVEER E., TIRU M., 2010, "Using Mobile Positioning Data to Model Locations Meaningful to Users of Mobile Phones.", *Journal of Urban Technology*, vol.17, n°1, 3–27.

ALVARES L. O., BOGORNY V., KUIJPERS B., DE MACEDO J. A. F., MOELANS B., VAISMAN A., 2007, "A model for enriching trajectories with semantic geographical information", 22:1–22:8 in: *Proceedings of the 15th annual ACM international symposium on Advances in geographic information systems*. GIS '07, New York, NY, USA, ACM.

ALVARES L. O., PALMA A. L. T., OLIVEIRA G., BOGORNY V., 2010, "Weka-STPM: from trajectory samples to semantic trajectories", p.164–169 in: *Proceedings of the XI Workshop de Software Livre*. Porto Alegre.

ANDRÉ-POYAUD I., BAHOKEN F., CHARDONNEL S., CHARLEUX L. L., DEPEAU S., DUREAU F., ET AL., 2009, "Représentations graphiques et indicateurs des mobilités et des dynamiques de peuplement : contribution bibliographique".

ANDRÉ-POYAUD I., CHARDONNEL S., CHARLEUX L. L., TABAKA K. K., 2008, "La mobilité au cœur des emplois du temps des citoyens", 67–95 in: Chalas Y. (dir.), *La mobilité qui fait la ville*. Lyon, Editions du CERTU.

ANDRIENKO G., ANDRIENKO N., BAK P., KEIM D., KISILEVICH S., WROBEL S., 2011, "A conceptual framework and taxonomy of techniques for analyzing movement", *Journal of Visual Languages & Computing*, vol.22, n°3, 213–232.

ANDRIENKO G., ANDRIENKO N., 2010, "A general framework for using aggregation in visual

exploration of movement data", *The cartographic journal*, vol.47, n°1, 22–40.

ANDRIENKO G., ANDRIENKO N., RINZIVILLO S., NANNI M., PEDRESCHI D., GIANNOTTI F., 2009, "Interactive Visual Clustering of Large Collections of Trajectories", in: *5th IEEE Visual Analytics Science and Technology Conference*. Atlanta, USA.

ANDRIENKO N., ANDRIENKO G., 2006, *Exploratory analysis of spatial and temporal data : a systematic approach*. Berlin ;New York, Springer.

ANDRIENKO N., ANDRIENKO G., STANGE H., LIEBIG T., HECKER D., 2012, "Visual Analytics for Understanding Spatial Situations from Episodic Movement Data", *KI - Künstliche Intelligenz*, vol.26, n°3, 241–251.

ASAKURA Y., HATO E., 2003, "Tracking survey for individual travel behaviour using mobile communication instruments", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol.12, n°3-4, 273–291.

ASAKURA Y., IRYO T., 2007, "Analysis of tourist behaviour based on the tracking data collected using a mobile communication instrument", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol.41, n°7, 684–690.

ASCHER F., 2003, "L'ambition moderne de maîtrise individuelle des espaces-temps : outils et enjeux", 17–28 in: Ascher F., Godard F. (eds), *Modernité : la nouvelle carte du temps*. La Tour d'Aigues, Editions de l'Aube.

ASCHER F., GODARD F., 2003, *Modernité : la nouvelle carte du temps*. La Tour d'Aigues, Editions de l'Aube, 262 p .

ASHBROOK D., STARNER T., 2003, "Using GPS to learn significant locations and predict movement across multiple users", *Personal and Ubiquitous Computing*, vol.7, n°5, 275–286.

AUGÉ M., 1992, *Non-lieux*. Paris, Seuil, 149 p .

APUR, 2004, *Paris la nuit. Etude exploratoire*. Paris.

APUR, 2010, *La nuit à Paris, état des lieux et tendances 2000-2010*. Paris.

APUR, 2012, *Les enjeux métropolitains du commerce de l'agglomération de Paris - Panorama de l'organisation commerciale*. Paris.

BAKIS H., VALENTIN J., 2010, "Amateurisme cartographique et géographique à l'heure du web 2.0 : questionnement autour de la neogéographie", *NETCOM - Networks and Communication studies - Geographical Journal on ICTs, networks and Information Society*, vol.24, n°1/2, 109–132.

BANOS A., 2001, *Le lieu, le moment, le mouvement : pour une exploration spatio-temporelle désagrégée de la demande de transport en commun en milieu urbain*. Besançon, Université de Franche-Comté, 355 p .

BANOS A., 2005, "Des trajectoires individuelles à la ville en mouvement : reconstruire les

mobilités urbaines quotidiennes", 289–300 in: *Actes des 13èmes journées de Rochebrune*. Rochebrune.

BANOS A., BOFFET-MAS A., CHARDONNEL S., LANG C., MARILLEAU N., THÉVENIN T., 2010, "Simuler la mobilité urbaine quotidienne : le projet MIRO", 51–88 in: Banos A., Thévenin T. (eds), *Mobilités urbaines et risques des transports. Approches géographiques*. Traité IGAT, Paris, Hermès science : Lavoisier.

BANOS A., THÉVENIN T., 2010, *Mobilités urbaines et risques des transports*. Paris, Hermès science : Lavoisier.

BARRAT A., BARTHÉLEMY M., VESPIGNANI A., 2008, *Dynamical Processes on Complex Networks*. Cambridge University Press, 368 p .

BARTHÉLEMY M., 2011, "Spatial networks", *Physics Reports*, vol.499, n°1-3, 1–101.

BAZZANI A., GIORGINI B., RAMBALDI S., GALLOTTI R., GIOVANNINI L., 2010, "Statistical laws in urban mobility from microscopic GPS data in the area of Florence", *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, vol.2010, n°05, P05001.

BEAUFILS S., DE BIASI K., 2010, *Débordement modéré de la population francilienne sur les départements limitrophes*. IAU, INSEE.

BERROIR S., MATHIAN H., SAINT-JULIEN T., SANDERS L., 2008, "La mobilité dans la construction du polycentrisme métropolitain", 31–57 in: Thériault M., Des Rosiers F. (eds), *Information géographique et dynamiques urbaines*. Traité IGAT, Lavoisier.

BERROIR S., MATHIAN H., SAINT-JULIEN T., SANDERS L., 2007, "Les pôles de l'activité métropolitaine", 11–38 in: Saint-Julien T., Legoix R. (eds), *La métropole parisienne : centralités, inégalités, proximités*. Mappemonde, Paris, Belin.

BERROIR S., LE NÉCHET F., MATHIAN H., SAINT-JULIEN T., SANDERS L., 2011, *Les pôles d'emploi dans l'aire urbaine de Paris en 2006*. Paris, DREIF - UMR 8504 Géographie-Cités.

BERTRAND F., COUDERC C., LADEGAILLERIE E., 2008, *La dynamique des activités en Ile-de-France*. Paris, IAURIF.

BIGOT R., CROTTE P., 2009, *La diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française*. Credoc.

BLONDEL V., KRINGS G., THOMAS I. "Regions and borders of mobile telephony in Belgium and in the Brussels Metropolitan zone", *Brussels Studies*, n°42, 2010.

BLUM E., 2010, "Le tourisme en Ile-de-France, un élément majeur de l'aménagement du territoire", IAURIF, n°511.

BOCQUET-APPEL J.-P., COURGEAU D., PUMAIN D. (eds), 1996, *Spatial Analysis of Biodemographic Data*. Paris, John Libbey Eurotext, 367 p .

BONNEFOY J.-L., BOUSQUET F., ROUCHIER J., 2001, "Modélisation d'une interaction

- individus, espace et société par les systèmes multi-agents : pâture en forêt virtuelle", *L'espace géographique*, vol.30, n°1, 13–25.
- BORGNAT P., ABRY P., FLANDRIN P., ROBARDET C., ROUQUIER J.-B., FLEURY E., 2011, "Shared bicycles in a city : a signal processing and data analysis perspective", *Advances in Complex Systems (ACS)*, vol.14, n°03, 415–438.
- BRAUDEL F., 1949, *La Méditerranée et le monde méditerranéen à l'époque de Philippe II*. Armand Colin, 1160 p .
- BRETAGNOLLE A., PUMAIN D., 2010, "Simulating Urban Networks through Multiscalar Space-Time Dynamics: Europe and the United States, 17th-20th Centuries", *Urban Studies*, vol.47, n°13, 2819–2839.
- BUARD E., 2010, "Incertitudes spatiales et temporelles des données de déplacements de populations animales", in: *Rencontres de doctorants en SHS sur la modélisation des dynamiques spatiales du GdR 3359 Modélisation et Dynamiques*.
- BUARD E., 2011a, "Visual exploration of large animal trajectories", in: *25th International Cartographic Conference (ICC'11)*. Paris.
- BUARD E., 2011b, "Pratiques spatiales des populations animales : analyses par les trajectoires", in: *Dixièmes Rencontres de Théo Quant*. Besançon.
- CAENEN Y., COUDERC C., COUREL J., PAULO C., SIMÉON T., 2010, "Les Franciliens consacrent 1 h 20 par jour à leurs déplacements", *Ile de France à la page*, n°331, IAU, Stif, INSEE.
- CALABRESE F., RATTI C., 2006, "Real Time Rome", *Networks and Communication Studies*, vol.20, n°3-4, 247–258.
- CALABRESE F., READES J., RATTI C., 2010, "Eigenplaces: Segmenting Space through Digital Signatures", *IEEE Pervasive Computing*, vol.9, n°1, 78–84.
- CALABRESE F., DI LORENZO G., LIU L., RATTI C., 2011, "Estimating Origin-Destination Flows Using Mobile Phone Location Data", *Pervasive Computing, IEEE*, vol.10, n°4, 36–44.
- CANDIA J., GONZÁLEZ M. C., WANG P., SCHOENHARL T., MADEY G., BARABÁSI A.-L., 2008, "Uncovering individual and collective human dynamics from mobile phone records", *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, vol.41, n°22.
- CARIOU C., 2007, *Typologie des territoires et des trafics : pour des modèles de trafic radio-mobile socialement informés*. France Telecom R&D.
- CARIOU C., 2010, "How music and art drive Paris?", *Des traces et des liens*. http://zeblog.everydatalab.com/paris_noctambule/
- CASTELLS M., 2001, *La Société en réseaux*. Paris, Fayard, 671 p .
- CATTAN N., 2004, "Mobilité spatiale", *Hypergéô*.

- CATTAN N., GRASLAND C., 1994, "Migrations et effets de barrière en Tchécoslovaquie (1960-1989)", 97–120 in: Rey V. (ed), *La Tchécoslovaquie en 1992: transition, fragmentation, recomposition*. Sociétés, Espaces, Temps, Presses de l'ENS Fontenay-Saint-Cloud.
- CATTAN N., PUMAIN D., ROZENBLAT C., SAINT-JULIEN T., 1999, *Le Système des villes européennes*. Paris, Anthropos, 204 p .
- CAUVIN C., ESCOBAR F., SERRADJ A., 2008, *Cartographie thématique: Des voies nouvelles à explorer*. Hermes Science Publications, 320 p .
- CERTU, 2008, *Les recueils de données sur la mobilité urbaine*. Paris, CERTU.
- CHALAS Y., 2008, *La mobilité qui fait la ville : actes des 3e Rencontres internationales en urbanisme de l'Institut d'urbanisme de Grenoble [organisées en février 2006 à la Cité des territoires, Grenoble]*. Lyon, Éditions du CERTU; 326 p .
- CHARDONNEL S., 1999, *Emplois du temps et de l'espace. Pratiques des populations d'une station touristique de montagne*. Grenoble, Université Joseph-Fourier, 267 p .
- CHARDONNEL S., 2001, "La time-geography : les individus dans le temps et dans l'espace", 129–155 in: Sanders L. (ed), *Modèles en analyse spatiale*. Traité IGAT. Série Aspects fondamentaux de l'analyse spatiale, Paris, Hermès science.
- CHARDONNEL S., 2007, "Time-geography :Individuals in Time and Space", 97–126 in: Sanders L. (ed), *Models in Spatial Analysis*. John Wiley & Sons.
- CHEYLAN J.-P., 2007, "Les processus spatio-temporels : quelques notions et concepts préalables à leur représentation", *Mappemonde*, vol.3, n°87.
- COCHEY É., TABAKA K. K., 2007, "Modes de représentation des trajectoires quotidiennes des habitants. Exploration de données spatio-temporelles.", in: *Actes des Huitièmes Rencontres de Théo Quant*. Besançon.
- COINTET J.-P., 2009, *Dynamiques sociales et sémantiques dans les communautés de savoirs, morphogenèse et diffusion*. AgroParisTech.
- COLLIGNON B., 1996, *Les Inuits. Ce qu'ils savent du territoire*. Paris, L'Harmattan, 254 p .
- COUREL J., 2012, *Enquête globale transport. La mobilité en Île-de-France*. Paris, Stif, DREIA-IF, IAU Ile-de-France.
- COURGEAU D., 1973, "Migrations et découpages du territoire.", *Population*, vol.28, n°3, 511–537.
- COURGEAU D., 1978, "Echelle géographique et migrants", *Canadian Studies in Population*, vol.5, 141–152.
- COURGEAU D., 1988, *Méthodes de mesure de la mobilité spatiale, migrations internes, mobilité temporaire, navettes*. Paris, INED, 300 p .
- COURGEAU D., 2004, *Du groupe à l'individu: Synthèse multiniveau*. INED, 258 p .
- COURONNÉ T., OLTEANU-RAIMOND A.-M., SMOREDA Z., 2011, "Chatty Mobiles: Individual

Bibliographie

mobility and communication patterns", in: *Netmob 2011. Second Conference on the Analysis of Mobile Phone Datasets and Networks*. Cambridge, MA.

CRAMPTON J. W., 2009, "Cartography: Maps 2.0", *Progress in Human Geography*, vol.33, n°1, 91–100.

DAGOGNET F., 1977, *Une épistémologie de l'espace concret: néo-géographie*. Paris, Vrin, 228 p .

DE CONINCK F., 2006, "Les déplacements en périphérie du temps de travail", <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00323458>

DELAGE M., FLEURY A., 2011, "Centralités commerciales et logique hiérarchique en milieu urbain dense", *Bulletin de la Société géographique de Liège*, vol.56, 7–21.

DEMATTEIS, 2003, "Centralité", pp. 139-141, in: Lévy J. & Lussault M., (eds), *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*. Paris, Belin.

DENIS J., PONTILLE D., 2010, *Petite sociologie de la signalétique : les coulisses des panneaux du métro*. Paris, Presses des mines.

DESROSIÈRES A., 2000, *La politique des grands nombres: Histoire de la raison statistique*. Paris, Editions La Découverte, 456 p .

DESSE R.-P., 1999, "La mobilité des consommateurs et les nouveaux espaces commerciaux", *Espace, populations, sociétés*, vol.17, n°2, 281–289.

DOLLFUS O., 1997, *La mondialisation*. Paris, Les Presses de Sciences Po, 171 p .

DUBUCS H., 2010, "Visiter et habiter : les spatialités croisées des touristes et résidents japonais dans la métropole parisienne", in: *Paris, Tourisme et Métropolisation*. Paris.

DUHAMEL P., KNAFOU R., 2007, "Le tourisme dans la centralité parisienne", 39–64 in: Saint-Julien T., Legoix R. (eds), *La métropole parisienne : centralités, inégalités, proximités*. Paris, Belin.

EAGLE, N., 2005, "Using Mobile Phones to Model Complex Social Systems", *O'reilly Media*.

ELISSALDE B., LUCCHINI F., FREIRE-DIAZ S., 2011, "Mesurer la ville éphémère", 105–122 in: Pumain D., Mattei M.-F. (eds), *Données Urbaines*, 6. Paris, Anthropos.

EQUIPE MIT, 2008, *Tourismes. Lieux communs*. Paris, Belin, 320 p .

ETIENNE L., 2011, *Motifs spatio-temporels de trajectoires d'objets mobiles, de l'extraction à la détection de comportements inhabituels. Application au trafic maritime*. Université de Bretagne occidentale - Brest.

ETIENNE L., DEVOGELE T., BOUJU A., 2009, "Analyse de similarité de trajectoires d'objets mobiles suivant le même itinéraire : Application aux trajectoires de navires", *Revue Ingénierie des Systèmes d'information*, vol.14, n°5, 85–106.

FISCHER P. F., 2005, "Models of uncertainty in spatial data", 191–205 in: Longley P. A.,

- Goodchild M., Maguire D. J., Rhind D. W. (eds), *Geographical Information Systems. Principles, Techniques, Management and Applications*. Wiley.
- FORTUNATO S., 2009, "Community detection in graphs", *arXiv:0906.0612*.
- FRANCASTEL S., 2008, *Le tourisme urbain en 2007. Rapport Général*. Direction du Tourisme.
- FREYTAG T., 2008, "Making a difference: tourist practices of repeat visitors in the city of Paris", *Social Geography Discussions*, vol.4, n°1, 1–25.
- FROELICH J., CHEN M., SMITH I., POTTER F., 2006, "Voting with Your Feet: An Investigative Study of the Relationship Between Place Visit Behavior and Preference", 333–350 in: *UbiComp 2006: Ubiquitous Computing*.
- FROELICH J., NEUMANN J., OLIVER N., 2009, "Sensing and Predicting the Pulse of the City through Shared Bicycling", 1420–1426 in: *Proceedings of the 21st international joint conference on Artificial intelligence*. Pasadena, California, USA.
- GASNIER A., 2007, "Les temps de mobilité des consommateurs au cœur des nouvelles logiques d'implantation de l'offre commerciale", *Espace populations sociétés*, n°2-3, 243-254.
- GENRE-GRANDPIERRE C., 2007, "Changer de métrique des réseaux routiers pour réguler la dépendance automobile: les « réseaux lents", *Les cahiers scientifiques du transport*, n°52, 45–66.
- GIANNOTTI F., NANNI M., PINELLI F., PEDRESCHI D., 2007, "Trajectory pattern mining", 330–339 in: *Proceedings of the 13th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*. San Jose, California, USA, ACM
- GILLI F., 2005, "Le Bassin parisien. Une région métropolitaine", *Cybergeo: European Journal of Geography*.
- GIRARDIN F., CALABRESE F., FIORE F. D., RATTI C., BLAT J., 2008, "Digital Footprinting: Uncovering Tourists with User-Generated Content", *IEEE Pervasive Computing*, vol.7, n°4, 36–43.
- GIRARDIN F., FIORE F. D., RATTI C., BLAT J., 2008, "Leveraging explicitly disclosed location information to understand tourist dynamics: a case study", *Journal of Location Based Services*, vol.2, n°1, 41–56.
- GIRARDIN F., VACCARI A., GERBER A., BIDERMAN A., RATTI C., 2009, "Quantifying urban attractiveness from the distribution and density of digital footprints", *International Journal of Spatial Data Infrastructure Research*, vol.4, 175–200.
- GIRRES J.-F., TOUYA G. "Quality Assessment of the French OpenStreetMap Dataset", *Transactions in GIS*, vol.14, n°4, 435–459.
- GOLLEDGE R. G., GALE N., PELLEGRINO J. W., DOHERTY S., 1992, "Spatial Knowledge

Bibliographie

- Acquisition by Children: Route Learning and Relational Distances", *Annals of the Association of American Geographers*, vol.82, n°2, 223–244.
- GONZÁLEZ M. C., HIDALGO C. A., BARABÁSI A.-L., 2008, "Understanding individual human mobility patterns", *Nature*, vol.453, n°7196, 779–782.
- GOODCHILD M., 2009, "NeoGeography and the nature of geographic expertise", *Journal of Location Based Services*, vol.3, n°2, 82–96.
- GOODCHILD M. F., 2007, "Citizens as voluntary sensors: spatial data infrastructure in the world of Web 2.0", *International Journal of Spatial Data Infrastructure Research*, vol.2, 24–32.
- GRAHAM S., 1998, "The end of geography or the explosion of place? Conceptualizing space, place and information technology", *Progress in Human Geography*, vol.22, n°2, 165–185.
- GRASLAND C., 1999, "Lissage cartographique et animation spatio-temporelle : Quelques réflexions théoriques et méthodologiques", *Travaux de l'Institut de Géographie de Reims*, n°101-104, 83–104.
- GRATALOUP C., 2007, *Géohistoire de la mondialisation: Le temps long du monde*. Paris, Armand Colin, 288 p .
- GRENGS J., WANG X., KOSTYNIUK L., 2008, "Using GPS Data to Understand Driving Behavior", *Journal of Urban Technology*, vol.15, n°2, 33–53.
- GUILLOT C., 2010, *Constitution et transformation du rapport au temps des individus : l'analyse des dimensions réflexives de la conduite de vie*. Université de Paris Est.
- GUIMERA R., MOSSA S., TURTSCHI A., AMARAL L. A. N., 2005, "The worldwide air transportation network: Anomalous centrality, community structure, and cities' global roles", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol.102, n°22, 7794–7799.
- GWIAZDZINSKI L., 2007, "Redistribution des cartes dans la ville malléable", *Espace populations sociétés*, vol.2-3, 397–410.
- HÄGERSTRAND T., 1970, "What about people in regional science?", *Papers in Regional Science*, vol.24, 7–21.
- HÄGERSTRAND T., 1985, "Time-geography : focus on the corporeality of man, society and environment", 193–216 in: *The Science and Praxis of Complexity*. Tokyo, The United Nations University.
- HAGGETT P., CLIFF A. D., FREY A., 1977, *Locational models*. London, Arnold, 605 p .
- HERRERA J. C., WORK D. B., HERRING R., BAN X. (JEFF), JACOBSON Q., BAYEN A. M., 2010, "Evaluation of traffic data obtained via GPS-enabled mobile phones: The Mobile Century field experiment", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol.18, n°4, 568–583.

- HUFF D. L., 1964, "Defining and Estimating a Trading Area", *Journal of Marketing*, vol.28, n°3, 34–38.
- ISAACMAN S., BECKER R., CÁCERES R., KOBOUROV S., ROWLAND J., VARSHAVSKY A., 2010, "A tale of two cities", 19–24 in: *Proceedings of the Eleventh Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*. HotMobile '10, New York, NY, USA, ACM.
- INSEE, 2010, *Tableaux économiques d'Ile de France - Edition 2010*. INSEE.
- JANELLE D. G., 1969, "Spatial Reorganization: A Model and Concept", *Annals of the Association of American Geographers*, vol.59, n°2, 348–364.
- JANSEN-VERBEKE M. C., ASHWORTH G., 1990, "Environmental integration of recreation and tourism", *Annals of Tourism Research*, vol.17, n°4, 618–622.
- JAURÉGUIBERRY F., 1998, "Lieux publics, téléphone mobile et civilité", *Réseaux*, n°90, 71–83.
- JAURÉGUIBERRY F., 2003a, *Les branchés du portable : sociologie des usages*. Paris, Presses universitaires de France, 160 p.
- JAURÉGUIBERRY F., 2003b, "L'homme branché : mobile et pressé", 155–167 in: Ascher F., Godard F. (eds.), *Modernité : la nouvelle carte du temps*. La Tour d'Aigues, Editions de l'Aube.
- JOLIVEAU T., 2010, "La géographie et la géomatique au crible de la néogéographie", *Tracés, Revue de Sciences humaines*, Hors série n°10, 227–239.
- JOLIVEAU T., 2011, "Le géoweb, un nouveau défi pour les bases de données géographiques", *L'Espace géographique*, vol.40, n°2, 154–163.
- JOSSELIN D., NICOT B., 2003, "Un modèle gravitaire géoéconomique des échanges commerciaux entre les pays de l'U.E., les PECO et les PTM", *Cybergeo : European Journal of Geography*.
- KAUFMANN V., 2004, "La mobilité comme capital?", 25–41 in: Montulet B., Kaufmann V. (eds), *Mobilités, fluidités... libertés?* Bruxelles, Facultés Universitaires Saint-Louis.
- KLEIN O., 2007, *Modélisation et représentations spatio-temporelles des déplacements quotidiens urbains*. Strasbourg, Université Louis Pasteur, 266 p.
- KORSU E., 2010, "La proximité domicile-travail dans les choix résidentiels et professionnels de l'individu hyper-moderne", 75–92 in: Massot M.-H. (dir.), *Mobilités et modes de vie métropolitains*. Paris, L'oeil d'or.
- KORSU E., MASSOT M.-H., ORFEUIL J. P., 2009, *Le concept de ville cohérente : réponse aux débats entre ville étalée et ville compacte*. PREDIT.
- KRINGS G., CALABRESE F., RATTI C., BLONDEL V. D., 2009, "Urban gravity: a model for inter-city telecommunication flows", *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, vol.2009, n°07, L07003.

Bibliographie

- KRYGSMAN S., DE JONG T., SCHMITZ P., 2007, "Capturing daily urban rhythms: The use of location aware technologies", in: *10th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*. Iguassu Falls, Brésil.
- KUUSIK A., TIRU M., AHAS REIN, VARBLANE U., 2011, "Innovation in destination marketing: The use of passive mobile positioning for the segmentation of repeat visitors in Estonia", *Baltic Journal of Management*, vol.6, n°3, 378–399.
- KWAN M.-P., 1999a, "Gender, the Home-Work Link, and Space-Time Patterns of Nonemployment Activities*", *Economic Geography*, vol.75, n°4, 370–394.
- KWAN M.-P., 1999b, "Gender and Individual Access to Urban Opportunities: A Study Using Space–Time Measures", *The Professional Geographer*, vol.51, n°2, 211–227.
- KWAN M.-P., 2000, "Interactive geovisualization of activity-travel patterns using three-dimensional geographical information systems: a methodological exploration with a large data set", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol.8, 185–203.
- LAMBIOTTE R., BLONDEL V., DE KERCHOVE C., HUENS E., PRIEUR C., SMOREDA Z., ET AL., 2008, "Geographical dispersal of mobile communication networks", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol.387, n°21, 5317–5325.
- LANGRAN G., CHRISMAN N., 1988, "A Framework For Temporal Geographic Information", *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, vol.25, n°3, 1–14.
- LAURIER E., 2001, "Why people say where they are during mobile phone calls", *Environment and Planning D: Society and Space*, vol.19, n°4, 485 – 504.
- LEFEBVRE H., 1974, *La production de l'espace*. Paris, Anthropos, 485 p .
- LENNTORP B., 1976, *Paths in space-time environments : a timegeographic study of movement possibilities of individuals*. Lund, Royal University of Lund, 150 p .
- LENZ B., NOBIS C., 2007, "The changing allocation of activities in space and time by the use of ICT—"Fragmentation" as a new concept and empirical results", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol.41, n°2, 190–204.
- LING R., 1998, "'On peut parler de mauvaises manières!' Le téléphone mobile au restaurant", *Réseaux*, n°90, 57–69.
- LOBBÉ Q., 2012, *Modélisation de données de mobilités individuelles sous forme de graphes multi-niveaux*. Paris, Université Technologique de Compiègne.
- LUCCHINI F., 2002, *Culture au service des villes*. Anthropos, 266 p .
- LUCCHINI F., 2010, *La fabrique des lieux culturels*. Rouen, Université de Rouen, 184 p .
- LUSSAULT M., STOCK M., 2003, "Mobilité", pp.622-624, in: Lévy J. & Lussault M., (eds), , *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*. Paris, Belin.

- MARCHAND P., 1993, *Paris, histoire d'une ville : XIXe-XXe siècle*. Paris, Editions du Seuil, 440 p .
- MASSOT M.-H., ORFEUIL J. P., 2005, "La mobilité au quotidien, entre choix individuel et production sociale", *Cahiers Internationaux de Sociologie*, vol.CXVIII, 81–100.
- MASSOT M.-H., ORFEUIL J. P., 2008, "Mobilité résultante et mobilité organisatrice : les paradigmes de la mobilité au service de la compréhension de la ville", in: Chalas Y. (ed), *La mobilité qui fait la ville*. Lyon, Editions du CERTU.
- MASSOT M.-H. (dir.), 2010, *Mobilités et modes de vie métropolitains les intelligences du quotidien*. Paris, L'Oeil d'or.
- MATHIAN H., FLEURY A., SAINT-JULIEN T., 2012, "Définir les centralités commerciales au cœur d'une grande métropole : le cas de Paris intra-muros", *Cybergeo : European Journal of Geography*.
- MEFTEH W., BOUJU A., MALKI J., 2012, "Une approche ontologique pour la structuration de données spatio-temporelles de trajectoires. Application à l'étude des déplacements de mammifères marins", *Revue internationale de géomatique*, vol.22, n°1, 55–75.
- MERCHEZ L., ROUQUIER J.-B., 2012, "Les rythmes urbains au prisme du Vélo'v Lyonnais", pp. 94-103, in: Pumain D., Mattei M.-F. (eds), *Données urbaines 6*. Paris, Anthropos.
- MERICSKAY B., 2011, "Les Sig et la cartographie à l'ère du géoweb", *L'Espace géographique*, vol.40, n°2, 142–153.
- MILLE M., 2000, "Des densités habitantes aux densités mouvantes l'exemple de la métropole lilloise", *Cybergeo : European Journal of Geography*.
- Ministère de l'artisanat, de l'économie et du tourisme, 2010, *Mémento du tourisme 2010*.
- MOLES A., ROHMER E., 1972, *Psychologie de l'espace*. Paris, Castermann, 162 p .
- MONMONIER M., 1990, "Strategies for the Visualization of Geographic Time-Series Data", *Cartographica*, vol.27, 30–45.
- MONREALE A., PINELLI F., TRASARTI R., GIANNOTTI F., 2009, "WhereNext: a location predictor on trajectory pattern mining", 637–646 in: *Proceedings of the 15th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*. Paris, France, ACM.
- MONTULET B., KAUFMANN VI., 2004, *Mobilités, fluidités... libertés ?* Bruxelles, 310 p .
- MOREL J., 2002, "Une ethnographie de la téléphonie mobile dans les lieux publics", *Réseaux*, vol.2-3, n°112-113, 50–77.
- NANNI M., PEDRESCHI D., 2006, "Time-focused clustering of trajectories of moving objects", *Journal of Intelligent Information Systems*, vol.27, n°3, 267–289.
- LE NÉCHET F., 2010, *Approche multiscalaire des liens entre mobilité quotidienne, morphologie et soutenabilité des métropoles européennes. Cas de Paris et de la région Rhin-*

- Ruhr: Champs sur Marne, Université Paris Est, 492 p .
- NEIS P., ZIELSTRA D., ZIPF A., 2011, "The Street Network Evolution of Crowdsourced Maps: OpenStreetMap in Germany 2007–2011", *Future Internet*, vol.4, n°1, 1–21.
- NEWMAN M. E. J., BARABÁSI A.-L., WATTS D. J., 2006, *The structure and dynamics of networks*. Princeton, Oxford, Princeton University Press.
- NGUYEN-LUONG D., 2012, *Faisabilité d'une enquête globale transports (EGT) intégrale par association d'un GPS, d'un SIG et d'un Système expert en Île-de-France*. Paris, Institut d'Aménagement et d'Urbanisme. Ile-de-France.
- NOBIS C., LENZ B., 2009, "Communication and mobility behaviour - a trend and panel analysis of the correlation between mobile phone use and mobility", *Journal of Transport Geography*, vol.17, n°2, 93–103.
- NOULAS A., SCCELLATO S., LAMBIOTTE R., PONTIL M., MASCOLO C., 2011, "A tale of many cities: universal patterns in human urban mobility", *arXiv:1108.5355*. <http://arxiv.org/abs/1108.5355>
- NOVA N., 2009, *Les médias géolocalisés*. Limoges, Editions FYP, 175 p .
- Observatoire économique du tourisme parisien, 2010, *Le tourisme à Paris. Chiffres clés 2009*.
- O'NEILL E., KOSTAKOS V., KINDBERG T., SCHIEK A. F. GEN., PENN A., STANTON FRASER D., ET AL., 2006, "Instrumenting the city: developing methods for observing and understanding the digital cityscape", in: *UbiComp 2006*. Orange County CA, USA, Springer.
- OLLIVRO J., 2000, *L'homme à toutes vitesses. De la lenteur homogène à la rapidité différenciée*. Rennes, Presses universitaires de Rennes, 184 p .
- OLTEANU-RAIMOND A.-M., COURONNÉ T., FEN-CHONG J., SMOREDA Z., 2012, "Modélisation des trajectoires spatio-temporelles issues des traces numériques de téléphones portables", *Revue internationale de géomatique*, n°3, 413–437.
- OPENSHAW S., 1984, *The Modifiable Areal Unit Problem*. Norwich [Norfolk], Geo Books.
- ORFEUIL J. P., 2004, "Etudier et qualifier les mobilités et les espaces urbains", IUP/Paris XII, Créteil.
- PALMA A. L. T., 2008, *A clustering-based approach for discovering interesting places in trajectories*. Porto Alegre, Universidade federal do rio grande do sul, 78 p .
- PEARCE D., 1999, "Tourism in Paris: studies at the microscale", *Annals of Tourism Research*, vol.26, n°1, 77–97.
- PEARCE D. G., 1998, "Tourist districts in Paris: structure and functions", *Tourism Management*, vol.19, n°1, 49–65.
- PEUQUET D. J., 2002, *Representations of Space and Time*. New-York, Guilford Press, 396 p .
- PHITHAKKITNUKON S., HORANONT T., DI LORENZO G., SHIBASAKI R., RATTI C., 2010,

- "Activity-aware map: identifying human daily activity pattern using mobile phone data", 14–25 in: *Proceedings of the First international conference on Human behavior understanding*. HBU'10, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag.
- PHITHAKKITNUKON S., SMOREDA Z., OLIVIER P., 2011, *Socio-geography of Human Mobility: A study using longitudinal mobile phone data*. Newcastle University.
- PIGNÉ Y., 2008, *Modélisation et traitement décentralisé des graphes dynamiques. Application aux réseaux mobiles ad hoc*. Le Havre, Université du Havre, 162 p .
- PIOMBINI A., FOLTÊTE J.-C., 2007, "Paysages et choix d'itinéraires pédestres en milieu urbain. Une nouvelle approche par les bifurcations", *Les cahiers scientifiques du transport*, vol.52, 87–105.
- PIORKOWSKI M., 2009, "Sampling Urban Mobility through On-line Repositories of GPS Tracks - Infoscience", in: *The 1st ACM International Workshop on Hot Topics of Planet-scale Mobility Measurements*. Kwakow, Poland.
- PUMAIN D., BRETAGNOLLE A., DEGORGE-LAVAGNE M., 1999, "La ville et la croissance urbaine dans l'espace-temps", *Mappemonde*, n°55, 38–42.
- PUMAIN D., SAINT-JULIEN T., 2001, *Les interactions spatiales: flux et changements dans l'espace géographique*. Paris, Armand Colin, 191 p .
- PUMAIN D., 2010, "Les systèmes spatiaux. Introduction", 213–220 in: Weisbuch G., Zwirn H. (eds), *Qu'appelle-t-on aujourd'hui les sciences de la complexité?* Paris, Vuibert.
- RALLET A., AGUILÉRA A., GUILLOT C., 2009, "Diffusion des TIC et mobilité : permanence et renouvellement des problématiques de recherche", *Flux*, n°78, 7–16.
- RATTI C., PULSELLI R. M., WILLIAMS S., FRENCHMAN D., 2006, "Mobile Landscapes: using location data from cell phones for urban analysis", *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol.33, n°5, 727–748.
- RATTI C., SOBOLEVSKY S., CALABRESE F., ANDRIS C., READES J., MARTINO M., ET AL., 2010, "Redrawing the Map of Great Britain from a Network of Human Interactions", *PLoS ONE*, vol.5, n°12, e14248.
- READES J., CALABRESE F., RATTI C., 2009, "Eigenplaces: analysing cities using the space – time structure of the mobile phone network", *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol.36, n°5, 824–836.
- READES J., CALABRESE F., SEVTSUK A., RATTI C., 2007, "Cellular Census: Explorations in Urban Data Collection", *IEEE Pervasive Computing*, vol.6, n°3, 30–38.
- REILLY W. J., 1931, *The law of retail gravitation*. New York, Knickerbocker Press. 94 p .
- RELIEU M., 2002, "Ouvrir la boîte noire", *Réseaux*, vol.112-113, n°2, 20-47.
- REYMOND H., CAUVIN C., 1991, "Interaction spatiale et cartographie : les solutions de W.

- Tobler", *Espace, populations, sociétés*, vol.9, n°3, 467–485.
- ROSVALL M., BERGSTROM C. T., 2008, "Maps of random walks on complex networks reveal community structure", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol.105, n°4, 1118–1123.
- ROTH C., KANG S. M., BATTY M., BARTHÉLEMY M., 2011, "Structure of Urban Movements: Polycentric Activity and Entangled Hierarchical Flows", *PLoS ONE*, vol.6, n°1, e15923.
- DE RUNZ C., 2008, *Imperfection, temps et espace : modélisation, analyse et visualisation dans un SIG archéologique*. Reims, Université de Reims Champagne-Ardenne, 215 p .
- SAINT-JULIEN T., LEGOIX R., (eds.) 2007, *La métropole parisienne : centralités, inégalités, proximités*. Paris, Belin, 333 p .
- SANDERS L., 2007, *Models in spatial analysis*. London; Newport Beach, CA, ISTE.
- SCHUSTER M., 2009, *Le tourisme nocturne entre discours et réalité. Le cas de Paris*. Paris, Université Paris I, 100 p .
- SCHWANEN T., DIJST M., KWAN M.-P., 2008, "ICTS and the decoupling of everyday activities, space and time : introduction", *Tijdschrift voor economische en sociale geografie*, vol.99, n°5, 519–527.
- SCHWANEN T., KWAN M.-P., 2008, "The Internet, mobile phone and space-time constraints", *Geoforum*, vol.39, n°3, 1362–1377.
- SEVTSUK A., RATTI C., 2010, "Does Urban Mobility Have a Daily Routine? Learning from the Aggregate Data of Mobile Networks.", *Journal of Urban Technology*, vol.17, n°1, 41–60.
- SHAW S.-L., YU H., BOMBOM L. S., 2008, "A Space-Time GIS Approach to Exploring Large Individual-based Spatiotemporal Datasets", *Transactions in GIS*, vol.12, n°4, 425–441.
- SHELLER M., URRY J., 2006, "The new mobilities paradigm", *Environment and Planning A*, vol.38, n°2, 207 – 226.
- SHOVAL N., ISAACSON M., 2007, "Tracking tourists in the digital age", *Annals of Tourism Research*, vol.34, n°1, 141–159.
- SILM S., AHAS R., 2010, "The seasonal variability of population in Estonian municipalities", *Environment and Planning A*, vol.42, n°10, 2527–2546.
- SIMON G., 2010, *Pratiques touristiques dans la métropole parisienne. Une analyse des mouvements intra-urbains*. Champs sur Marne, Université de Paris Est, 638 p .
- SMITH L., BECKMAN R., BAGGERLY K., ANSON D., WILLIAMS M., 1995, *TRANSIMS: Transportation analysis and simulation system*. Departement of Energy - Office of scientific and technical information.
- SMOREDA Z., OLTEANU-RAIMOND A.-M., COURONNÉ T., à paraître en 2013, "Spatiotemporal data from mobile phones for personal mobility assessment", in: Zmud J., Lee-Gosselin M.,

- Munizaga M. A., Carrasco J. A. (eds), *Transport Survey Methods: Best Practice for Decision Making*. Emerald Group Publishing Ltd.
- SOHN T., VARSHAVSKY A., LAMARCA A., CHEN M. Y., CHOUDHURY T., SMITH I., ET AL., 2006, "Mobility Detection Using Everyday GSM Traces", *Proceedings of the Eighth International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2006)*, vol.4206, 212–224.
- SONG C., QU Z., BLUMM N., BARABASI A.-L., 2010, "Limits of Predictability in Human Mobility", *Science*, vol.327, n°5968, 1018–1021.
- SPACCAPIETRA S., PARENT C., DAMIANI M. L., DE MACEDO J. A., PORTO F., VANGENOT C., 2008, "A conceptual view on trajectories", *Data and Knowledge Engineering*, vol.65, n°1, 126–146.
- STEWART J. Q., 1948, "Demographic Gravitation: Evidence and Applications", *Sociometry*, vol.11, n°1/2, 31–58.
- STOCK M., 2003, *Le tourisme : acteurs, lieux et enjeux*. Paris, Belin, 304 p .
- STOUFFER S. A., 1960, "Intervening opportunities and competing migrants", *Journal of Regional Science*, vol.2, n°1, 1–26.
- SUROWIECKI J., 2008, *La Sagesse des foules*. Paris, Jean-Claude Lattès, 384 p .
- TARDIEU F., TERRIER C., 2006, *Enquête auprès des visiteurs venant de l'étranger (EVE). Résultats 2005*. Direction du Tourisme.
- TERRIER C., 1998, "MIRABELLE", in: Le Gléau, J.-P. (ed.), *Les zonages : enjeux et méthodes*. INSEE Méthodes.
- TERRIER C., 2005, "Les statistiques et le tourisme", *INSEE Actualités Magazine*, n°38, 4–6.
- TERRIER C., 2006a, *Mobilité touristique et population présente*. Paris.
- TERRIER C., 2006b, "Flux et afflux de touristes : les instruments de mesure, la géomathématique des flux - Cairn.info", *Flux*, vol.3, n°63, 47–62.
- TERRIER C., 2010, "Distinguer la population présente de la population résidente", *Courier des statistiques - INSEE*, n°128, 63–70.
- TERRIER C., 2011, "La valeur des données géographiques", *L'Espace géographique*, vol.40, n°2, 103–108.
- THÉVENIN T., 2010, *Transport – Espace - Temps : Regard croisé entre Time Geography et Geohistoire*. Dijon, Université de Bourgogne, 182 p .
- THÉVENIN T., CHARDONNEL S., COCHEY É., 2007, "Explorer les temporalités urbaines de l'agglomération de Dijon", *Espace populations sociétés*, vol.2-3, 179–190.
- TIRU M., SALUVEER E., AHAS REIN, AASA ANTO, 2010, "The Positium Barometer: A Web-Based Tool for Monitoring the Mobility of Tourists.", *Journal of Urban Technology*, vol.17, n°1, 71–89.

Bibliographie

- TOBLER W. R., 1987, "Experiments in Migration Mapping by Computer", *The American Cartographer*, vol.14, n°2, 155–163.
- TOBLER W. R., 1970, "A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region", *Economic Geography*, vol.46, 234.
- TOWNSEND A., 2000, "Life in the Real-Time City: Mobile Telephones and Urban Metabolism", *Journal of Urban Technology*, vol.7, n°2, 85–104.
- TURCHIN P. "Quantitative analysis of animal movements in congregations", 107–112 in: Parrish J. K., Hamner W. M., Parrish J. K., Hamner W. M. (eds), *Animal Groups in Three Dimensions*. Cambridge, Cambridge University Press.
- TURNER A., 2006, *Introduction to Neogeography*. Sebastopol, Calif., O'Reilly.
- ULLMAN E. L., 1954, "Geography as spatial interaction", 63-71 in : *Interregional Linkages (Proceedings of the Western Committee on Regional Economic Analysis)*, Berkeley, California.
- VACCARI A., LIU L., BIDERMAN A., RATTI C., PEREIRA F., OLIVEIRINHA J., ET AL., 2009, "A holistic framework for the study of urban traces and the profiling of urban processes and dynamics", 1–6 in: *12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*. Anchorage, AK, USA.
- WEISBUCH G., ZWIRN H., (eds.) 2010, *Qu'appelle-t-on aujourd'hui les sciences de la complexité ? : Langages, réseaux, marchés, territoires*. Vuibert, 352 p .
- WIEL M., 1999, *La transition urbaine ou le passage de la ville-pédestre à la ville motorisée*. Editions Mardaga, 164 p .
- WILSON A. G., 1971, *Entropy in Urban and Regional Modelling*. London, Pion Ltd, 166 p .

Table des figures

Figure 1.1 : Extrait de l'aide en ligne de Google Maps	18
Figure 1.2 : Fonctionnement de Google Map Maker	19
Figure 1.3 : Extrait de Google Maps, recherche effectuée sur les librairies à proximité d'une adresse	21
Figure 1.4 : Extrait de Mapofthedeat.com, site utilisant les données issues de Google Places.	23
Figure 1.5 : Extrait du site Runkeeper cartographiant un itinéraire et dessinant son profil topographique et la vitesse du déplacement à partir des données d'un GPS	26
Figure 1.6 : Trajectoire augmentée d'une sémantique à l'aide des lieux et temps d'arrêt à partir de données de GPS	36
Figure 1.7 : Indice de topologie des circuits sur des trajectoires recueillies par un GPS	38
Figure 1.8 : L'agrégation des trajectoires GPS dans l'espace urbain de Milan	38
Figure 2.1: Distribution des salariés résidents travaillant à Paris au sein des zones d'emploi d'Ile-de-France	69
Figure 2.2 : Distribution des salariés résidents travaillant en région parisienne au sein des zones d'emploi d'Ile-de-France, hors Paris . Ces derniers sont très nombreux dans les bords des régions périphériques.	69
Figure 2.3 : Schéma de l'axe historique Parisien comportant les principaux monuments	71
Figure 2.4 : Les pôles communaux en 2006	72
Figure 2.5 : Evolution 1999-2006 de l'emploi des 25-54 ans dans les pôles multi-communaux de 1999	73
Figure 2.6 : La carte de la fréquentation de Paris d'après la localisation des photographies prises par les étrangers et les locaux	75
Figure 3.1 : L'organisation du réseau mobile.....	80
Figure 3.2 : Modèle des données brutes fournies par l'opérateur de téléphonie mobile.....	81
Figure 3.3 : Découpage communal et découpage en polygones de Voronoï autour des BTS dans Paris et sa petite couronne.....	85
Figure 3.4 : Découpage communal et découpage en polygones de Voronoï autour des BTS dans l'est de la région Ile-de-France.....	85
Figure 3.5 : Le passage des trajectoires individuelles aux flux de mobilité.....	92
Figure 3.6 : Probabilité qu'ont des clients de Liège, Bruxelles et Louvain d'avoir un lien avec un autre client d'une autre commune belge.....	97
Figure 3.7 : Les places de manifestations et des places de communications lors de la nuit blanche 2008.....	99
Figure 4.1 : Représentation des trajectoires individuelles de 300 individus le 29/03/2009....	104
Figure 4.2 :Les différentes agrégations possibles à partir des données de téléphonie mobile	107
Figure 4.3: La chaîne de traitement de l'information réalisée dans le cadre du stage de Q. Lobbé	110
Figure 4.4 : Agrégation des traces individuelles en flux de déplacements entre BTS (Base Transceiver Station).....	111

Table des figures

Figure 4.5 : Les représentations des flux de population par W. Tobler.	113
Figure 4.6 : Les solutions de W. Tobler en fonction des différents objectifs.	113
Figure 4.7 : Les agrégations spatio-temporelles des traces des téléphones portables.	114
Figure 4.8 : Les différentes agrégations temporelles possibles pour la plage horaire t0t1.	116
Figure 4.9 : Mesure du gain d'information quand on modifie les bornes du découpage temporel. Variation de la borne supérieure d'une tranche horaire toutes les dix minutes.	117
Figure 4.10 : Evolution du nombre de liens en fonction de la borne supérieure du créneau horaire de la fin du déplacement, pour le créneau horaire 9h-10h le 31/03/2009.	118
Figure 4.11 : Gain d'information lors de la variation de la borne supérieure de la tranche horaire considérée.	119
Figure 4.12 : Distribution des effectifs (valeurs brutes et transformées) observés dans les flux de déplacements entre stations du réseau de téléphonie mobile entre 9h et 10h le 31/03/2009.	119
Figure 4.13 : Représentation log-log des fréquences de flux de déplacement entre les stations du réseau de téléphonie mobile entre 9h et 10h le 31/03/2009.	121
Figure 4.14 : Distribution des effectifs (valeurs transformées) supérieurs à 30, observés dans les flux de déplacements entre stations du réseau de téléphonie mobile entre 9h et 10h le 31/03/2009.	122
Figure 4.15 : Comparaison des représentations graphiques des flux de déplacement entre stations du réseau de téléphonie mobile entre 9h et 10h.	122
Figure 4.16 : Construction des vecteurs moyens à partir de chaque station du réseau de téléphonie mobile.	123
Figure 4.17 : Vecteurs moyens calculés à partir des flux de mobilité entrants et sortants.	124
Figure 4.18 : Lissage des valeurs observées.	124
Figure 4.19 : La distribution horaire des appels émis et reçus en Ile-de-France pendant le mois de décembre 2009.	126
Figure 4.20 : Répartition horaire des appels émis et reçus au cours d'une journée, le 1er décembre 2009.	127
Figure 4.21 : Répartition horaire du nombre d'utilisateurs enregistrés sur le réseau de téléphonie mobile Orange le 31 mars 2009.	127
Figure 4.22 : Taux de présence et déplacements de la population francilienne.	128
Figure 4.23 : Champs de vecteurs moyens entre 9h et 10h le 31/03/2009 à Paris.	129
Figure 4.24 : Champs de vecteurs moyens entre 18h et 19h le 31/03/2009 à Paris. Les vecteurs en rose sont des vecteurs sortants et en bleus sont représentés les vecteurs entrants.	130
Figure 4.25 : Flux de déplacements entre stations du réseau de téléphonie mobile pour la région Ile-de-France et la région parisienne le 31/03/2009.	132
Figure 4.26 : Flux de déplacements (en logarithmes) entre stations du réseau de téléphonie mobile pour la région Ile-de-France et la région parisienne le 31/03/2009.	133
Figure 4.27 : Flux de déplacements entre stations du réseau de téléphonie mobile pour Paris et sa proche banlieue le 31/03/2009.	134
Figure 4.28 : Flux de déplacements (en logarithmes) entre stations du réseau de téléphonie mobile pour Paris et sa proche banlieue le 31/03/2009.	135

Figure 4.29 : Flux de déplacements (en logarithmes) entre stations du réseau de téléphonie mobile dans Paris le 31/03/2009 et le 04/04/2009.....	138
Figure 4.30 : Calcul du flux théorique et du flux préférentiel entre deux stations du réseau de téléphonie mobile.	140
Figure 4.31 : Trajectoire d'une particule en marche aléatoire au sein d'un réseau.....	142
Figure 4.32 : Communautés de zones de déplacements en Ile-de-France pour la journée du 31/03/2009.....	143
Figure 4.33 : Supra-communautés de zones de déplacements en Ile-de-France pour la journée du 04/04/2009.....	143
Figure 4.34 : Comparaison entre les communautés géographiques obtenues pour un jour de semaine et un jour de week-end.....	145
Figure 4.35 : Supra-communautés dans Paris le 31/03/2009 entre 7h et 10h.....	146
Figure 4.36 : Supra-communautés dans Paris le 31/03/2009 entre 10h et 17h.	146
Figure 4.37 : Supra-communautés dans Paris et communes avoisinantes le 31/03/2009 entre 10h et 17h.....	147
Figure 5.1 :Nombre d'utilisateurs en <i>roaming</i> du 30/03/2009 au 05/04/2009.....	151
Figure 5.2 : Répartition des nationalités auprès des visiteurs étrangers du 31/03/2009 au 05/04/2009 en Ile-de-France.....	153
Figure 5.3 : Répartition des nationalités auprès des visiteurs étrangers en 2005 d'après l'enquête sur les visiteurs étrangers de 2005	154
Figure 5.4 : Rapport entre la taille de la fenêtre de lissage et les phénomènes observés.....	159
Figure 5.5 : Comparaison entre la représentation filtrée (seuil : 30) des flux de déplacements de visiteurs étrangers entre stations à Paris entre 12 et 13h le 31/03/2009.....	160
Figure 5.6 : Nombre de visiteurs étrangers présents sur le réseau de téléphonie mobile le 31/03/2009	160
Figure 5.7 : Représentations lissées du nombre de visiteurs étrangers présents le 31/03/2009.	161
Figure 5.8 : Flux de déplacements (en logarithmes) entre les stations du réseau de téléphonie mobile pour l'est francilien, le 31/03/2009 entre 12h et 13h.....	163
Figure 5.9 : Flux (valeurs transformées en logarithmes) de visiteurs étrangers entre stations du réseau de téléphonie mobile le 31/03/2009.....	164
Figure 5.10 : Flux (valeurs transformées en logarithmes) de visiteurs étrangers entre stations du réseau de téléphonie mobile le 31/03/2009 entre 12 et 13h.....	165
Figure 5.11 : Présence des visiteurs étrangers sur le réseau de téléphonie mobile entre 8h et 9h le 31/03/2009 dans le nord est de Paris (autour de l'aéroport Charles de Gaulle). Fenêtre de rayon de lissage : 2km.....	166
Figure 5.12 : Principaux flux de déplacements de visiteurs étrangers (en logarithme) autour de l'aéroport Charles de Gaulle, le 31/03/2009 entre 8h et 9h.....	167
Figure 5.13 : Comparaison entre la représentation des principaux axes autoroutiers en Ile-de-France à gauche et les flux de visiteurs étrangers le 31/03/2009 de 12h à 13h sur la figure de droite.....	168
Figure 5.14 : Flux (valeurs transformées en logarithmes) au sein de l'Ile de France entre 12h et	

Table des figures

13h le 31/03/2009.....	169
Figure 5.15 : Les centralités touristiques au sein de l'espace parisien.....	172
Figure 5.16 : Étendue de l'espace sur laquelle on trouve des traces de présence des touristes étrangers en fonction de la durée du séjour.....	173
Figure 5.17 : Localisation des sites touristiques dans Paris.....	174
Figure 5.18 : Calcul des zones d'influence des sites touristiques.....	175

Table des tableaux

Tableau 1.1: Les différents capteurs de données géolocalisées.....	31
Tableau 2.1: Les niveaux spatio-temporels de l'observation des mobilités.....	48
Tableau 2.2 : Historique des dernières enquêtes sur la mobilité quotidienne des individus en France.	62
Tableau 3.1 : Les « événements » du réseau de téléphonie mobile qui donnent lieu à un enregistrement de localisation	87
Tableau 4.1 : Les types d'analyse du mouvement et les techniques d'agrégation disponibles, traduit d'après G. et N. Andrienko (2010).	106
Tableau 5.1 : L'accessibilité touristique à Paris.....	170
Tableau 5.2 : Comparaison entre la hiérarchie de fréquentation des sites touristiques obtenues avec des données de téléphonie mobile et avec des données de l'office du tourisme.....	176

Table des encadrés

Encadré 2.1 : Les critiques faites à l'EGT.....	61
Encadré 3.1 : Extrait de la Directive Européenne 2002/58/CE, qui encadre le secteur des Télécommunications, et notamment les données personnelles collectées par les opérateurs ..	91

Table des matières

Remerciements.....	4
Introduction.....	7
Chapitre 1 : La production de données individuelles par des capteurs urbains.....	17
I.1. La géolocalisation modifie le rapport au territoire.....	18
I.1.1. L'accessibilité des données géographiques.....	19
I.1.2. La modification de notre connaissance spatiale et de nos pratiques.....	27
I.2. De nouvelles sources de données pour les chercheurs.....	30
I.2.1. Panorama de ces nouvelles sources et des études faites sur l'organisation du territoire.....	30
I.2.2. Quels questionnements sont possibles à partir de ces nouvelles données?.....	35
Conclusion du chapitre 1.....	45
Chapitre 2 : Les mobilités individuelles dans l'organisation de l'espace urbain.....	47
II.1. Des cadres théoriques pour saisir les mobilités urbaines.....	49
II.1.1. Les flux de mobilité.....	49
II.1.2. Les mobilités individuelles : ressorts et contraintes.....	53
II.1.3. La forme urbaine influence-t-elle les pratiques de mobilité ?.....	56
II.2. Les sources de données classiques sur la mobilité individuelle.....	59
II.2.1. Des grandes enquêtes issues des années 60.....	60
II.2.2. Des sources pour analyser les évolutions de la mobilité ?.....	62
II.3. Saisir les mobilités individuelles dans l'organisation de l'espace francilien.....	67
II.3.1. Les échelles de fonctionnement de la région Ile-de-France.....	67
II.3.2. Les centralités métropolitaines.....	70
Conclusion du chapitre 2	77
Chapitre 3: Mobilité individuelle et communication mobile.....	79
III.1. Les données d'usage des téléphones portables.....	80
III.1.1. Le fonctionnement du réseau de téléphonie mobile d'Orange.....	80
III.1.2. Les imperfections des données de téléphonie mobile.....	83
III.1.3. La nécessité du passage de l'individu aux lieux	89
III.2. L'explosion des communications mobiles.....	93
III.2.1. Un essor des communications et des mobilités.....	93
III.2.2. La communication révèle les territoires vécus.....	95
III.3. Le contexte spatio-temporel de la communication mobile.....	98
III.3.1. Les temporalités de la communication.....	98
III.3.2. Les lieux et territoires de la communication.....	100
Conclusion du chapitre 3.....	102

Table des matières

Chapitre 4 : Les comptes de la mobilité ordinaire en Ile-de-France.....	103
IV.1.Des traces individuelles aux flux de mobilité.....	103
IV.1.1. Agréger les traces individuelles pour représenter le mouvement	104
IV.1.2. Une visualisation exploratoire des flux de mobilité.....	109
IV.2. Les rythmes des pratiques quotidiennes.....	125
IV.2.1. Des rythmes sociaux qui organisent les pratiques des usagers.....	125
IV.2.2. La “banalité” des déplacements quotidiens.....	129
IV.3. Les centralités urbaines fonctionnelles.....	131
IV.3.1. Les « centres » d'attraction	131
IV.3.2. Les « villages » franciliens.....	139
Conclusion du chapitre 4.....	148
Chapitre 5 : La mobilité des visiteurs étrangers.....	149
V.1. Les visiteurs étrangers dans la région Ile-de-France.....	149
V.1.1. Comment connaître la présence et les déplacements des visiteurs étrangers ?...150	
V.1.2. Qui sont ils?.....	151
V.1.3. Comment se déplacent ils?.....	154
V.2. Le Paris des visiteurs étrangers : centres et périphéries.....	156
V.2.1. Un hypercentre touristique extrêmement fréquenté.....	157
V.2.2. L'importance des déplacements des visiteurs étrangers	163
V.3. Des pratiques variées en terme d'activité.....	170
Conclusion du chapitre 5.....	178
Conclusion générale	179
Annexes.....	185
Annexe A : Extraction des données agrégées.....	185
Annexe B : Construction des graphes.....	187
Annexes C : Premières visualisations.....	189
Annexes D : Communautés de déplacements préférentiels entre stations du réseau de téléphonie mobile.....	191
Bibliographie.....	192
Table des figures.....	209
Table des tableaux.....	213
Table des encadrés.....	213