

Vincent Blondel, Gautier Krings, Isabelle Thomas

Régions et frontières de téléphonie mobile en Belgique et dans l'aire métropolitaine bruxelloise

Dans cet article, nous explorons l'existence de régions et de frontières en Belgique au moyen d'un jeu de données original de plus de 200 millions de communications mobiles et d'une méthode mathématique qui permet de découper de manière naturelle et automatique des réseaux en groupes cohérents. Une géographie des communications mobiles est ainsi proposée sur la base de la fréquence relative des communications ainsi que de leur durée moyenne. Dans le cas de la fréquence relative des communications, nous obtenons une carte de Belgique composée de 17 groupes ou « bassins téléphoniques » spatialement bien ancrés, aux communes étonnamment toutes adjacentes. Sur cette première carte, le bassin de Bruxelles est le seul qui traverse largement la frontière linguistique et couvre les trois régions institutionnelles du pays. Dans le cas de la durée moyenne des communications, nous obtenons un groupe au nord et un groupe au sud du pays. Ces deux groupes concentrent en leur sein près de 98% des appels téléphoniques ; seuls 2% des communications passent d'un groupe à l'autre. Le groupe du sud comprend les 19 communes de Bruxelles, toutes les communes de la région Wallonne ainsi que huit communes à facilités situées en région flamande. En particulier, toutes les communes à facilités de la périphérie bruxelloise (à l'exception de Wemmel) font partie du groupe du sud du pays.

Vincent Blondel est professeur de mathématiques appliquées à l'Université catholique de Louvain et professeur invité au Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, USA) où il enseigne la programmation linéaire. Il est membre de l'institut ICTEAM de l'UCL, du centre Naxys des FUNDP et du "Laboratory for Information and Decision Systems" du MIT. Ses recherches portent sur l'analyse des systèmes complexes et sur diverses questions de mathématiques discrètes, en particulier l'analyse de grands réseaux.

Gautier Krings est ingénieur civil en mathématiques appliquées, et prépare une thèse de doctorat en sciences de l'ingénieur à l'UCL sous la supervision de Vincent Blondel. Il est membre de l'institut ICTEAM de l'UCL. Il s'intéresse à l'extraction d'information de grands réseaux, et particulièrement à leur distribution géographique et leur évolution temporelle

Isabelle Thomas est docteur en sciences géographiques et agrégée de l'enseignement supérieur (AES). Elle est Directrice de Recherches au Fonds de la Recherche Scientifique et Professeure au Département de Géographie à l'UCL. Elle s'intéresse particulièrement à la localisation des activités humaines, avec un intérêt tout particulier aux outils statistiques, cartographiques et à la modélisation..

Contacts :

Vincent Blondel, +1 617 253 2141 +1 617 956 2563

vincent.blondel@uclouvain.be, blondel@mit.edu

Gautier Krings, +32 10 47 8041,

gautier.krings@uclouvain.be

Isabelle Thomas, +32 10 472136,

isabelle.thomas@uclouvain.be

Christophe Mincke (secr. rédac.), +32(0)473 21 02 65

mincke@fuw.ac.be



1. Introduction

Les matrices origine-destination fascinent les chercheurs en sciences régionales depuis de nombreuses décennies et ont déjà fait l'objet d'une abondante littérature scientifique étudiant l'impact de la distance sur l'intensité des flux entre origine et destination (voir par exemple Carrothers, 1956; Taylor, 1983; Haynes et Fotheringham, 1988; Sen et Smith, 1995; Pumain et Saint-Julien, 2001; Roy, 2004 ou Prager et Thisse, 2010). Les communications téléphoniques constituent un exemple d'interrelations pour lesquelles des modèles de type gravitationnel sont souvent utilisés (voir par exemple Rietveld et Janssen, 1990, Rossera, 1990 ou Palm, 2002). Ces derniers montrent l'importance de la langue et de la distance dans les communications de téléphonie fixe. Notre travail s'inscrit dans la même orientation, mais concerne la téléphonie mobile en Belgique et tient compte de la structure du réseau de communication.

En Belgique, les navettes scolaires ou de travail, les migrations ou les communications téléphoniques sont autant d'exemples de bases de données d'interrelations spatiales qui ont déjà conduit à de nombreuses analyses spatiales, voire à des propositions de découpage de l'espace. Ces découpages sont toutefois souvent difficiles à comparer entre eux car la définition des régions varie selon l'objectif, l'échelle et les critères utilisés. Citons par exemple les zones urbaines proposées par Van Hecke *et al.*, 2007, les bassins d'emploi (de Wasseige *et al.*, 2000; Lockhart et Vandermotten, 2009; Verhetsel *et al.*, 2009), les bassins scolaires (Halleux *et al.*, 2007) ou les zones de chalandise (Mérenne-Schoumacker, 2010). D'autres études s'intéressent aux mesures de l'épaisseur de la frontière linguistique (voir par exemple Klaassen *et al.*, 1972 ou Dujardin, 2001). Dans la plupart des cas, la définition des régions se base sur l'identification d'un centre au sein d'un espace et sur la notion d'accessibilité à ce centre.

Le présent article vise à proposer une structure spatiale de la Belgique à partir des flux de téléphonie mobile en Belgique, sans aucun présupposé géographique de distance ou de centralité. Les communes sont ici regroupées à l'aide d'une méthode statistique adaptée aux grandes bases de données sur réseaux (Newman, 2006; Blondel *et al.*, 2008). Les résultats obtenus sont cartographiés et permettent d'aborder des questions telles que : téléphone-t-on plus à des interlocuteurs proches que lointains ? Existe-t-il des effets de frontières à l'intérieur de la Belgique et

quels sont-ils ? On observera aussi si les habitudes téléphoniques découpent l'espace belge de façon originale ou si les groupes obtenus se calquent sur la hiérarchie urbaine, sur les bassins d'emploi ou sur des réalités administratives (provinces, arrondissements, etc).

La suite de l'article est organisée de la façon suivante : dans la Section 2 nous décrivons brièvement les données et la méthode utilisée pour identifier les groupes de communes, nous décrivons et discutons ensuite les résultats obtenus dans la Section 3 avant de conclure avec une dernière section.

2. Les données et la méthode de détection automatique de groupes de communes

La base de données utilisée contient des informations relatives aux communications de téléphonie mobile de l'ensemble des abonnés d'un opérateur. La base contient 2.6 millions d'abonnés dont on connaît la commune de facturation, ainsi que le nombre et la durée des appels donnés et reçus. Par souci d'anonymat, chaque abonné est identifié par une clé anonyme. La base contient plus de 200 millions de communications sur une période de 6 mois (entre le 1er octobre 2006 et le 31 mars 2007).

Pour notre analyse, nous n'avons retenu que les communications entre les utilisateurs de l'opérateur; en particulier, les communications à destination de postes fixes, les communications internationales et les communications vers d'autres opérateurs ne sont pas prises en compte. Les SMS, MMS et autres communications de type "data" ont également été écartés pour ne conserver que les communications vocales. Enfin, seules les communications réciproques (au moins un appel dans chaque direction) et d'une importance significative (au moins 6 appels en 6 mois) ont été retenues. Par ces choix, nous tentons d'obtenir autant que possible une représentation d'un réseau interpersonnel. Malheureusement, il n'a pas été possible de distinguer les appels privés des appels professionnels, ce qui aurait permis d'affiner les résultats.

Chaque abonné est identifié (géocodé) par sa commune de facturation. S'agissant de téléphonie mobile, il est utile de préciser ici que nous ne prenons pas en compte la localisation des interlocuteurs au moment de la communication. Il ne s'agit donc pas d'analyser la mobilité physique des abonnés : seule la commune de facturation est utilisée pour géocoder un abonné. On obtient donc un réseau dans lequel l'information relative au lien entre la commune A et la commune B est donnée par l'ensemble des communications passées par les abonnés localisés en A aux abonnés localisés en B .

La *fréquence relative* du lien $A B$ est définie comme le nombre des communications faites par les abonnés de A vers ceux de B , divisé par le produit du nombre d'abonnés localisés en A et du nombre d'abonnés localisés en B . Cette division relativise les chiffres absolus, et les rend indépendants de la taille de la commune mais aussi de la part de marché de l'opérateur dans ces communes.

En plus de la fréquence (relative), nous considérons aussi la *durée moyenne* des communications car celle-ci rend compte d'un autre aspect de la nature des rela-

tions téléphoniques. La durée moyenne du lien $A B$ est donnée par le temps moyen des communications réalisées par les abonnés de A vers ceux de B . Comme il y a 589 communes en Belgique, nous disposons donc de deux matrices 589×589 , l'une avec les fréquences d'appel et l'autre avec les durées moyennes des communications.

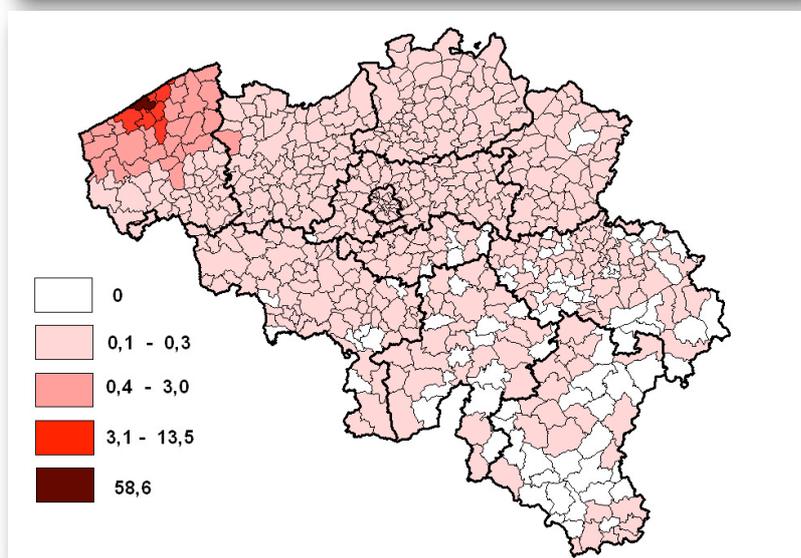
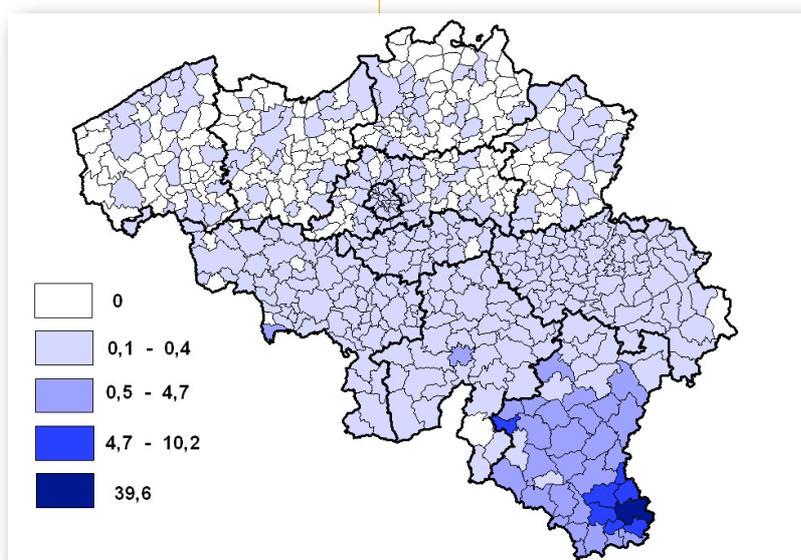


Figure 1 : Fréquence des communications au départ des communes d'Arlon (bleu) et d'Ostende (rouge).

En guise d'illustration, la Figure 1 représente la cartographie de la fréquence des communications au départ des communes d'Arlon (a) et d'Ostende (b) vers l'ensemble des communes belges. On observe que la fréquence des communications décroît fortement avec la distance, confirmant ainsi des propriétés bien connues des communications téléphoniques, voire de la plupart des interactions sociales (voir entre autre Verhetsel *et al.* 2009 où on trouve des cartes similaires réalisées sur base des navettes et avec d'autres méthodes). A l'heure où les tarifs pour les communications téléphoniques internes à la Belgique ne dépendent plus de la distance et où de nombreuses activités économiques semblent moins dépendantes des coûts de transport, on téléphone toujours plus souvent aux personnes géographiquement proches et que l'on voit sans doute souvent.

Au départ des deux réseaux décrits plus haut (*fréquence, durée moyenne*), nous identifions dans la suite de cet article des groupes de communes de manière automatique : existe-t-il des groupes de communes dont la fréquence des communication est plus élevée ou pour lesquelles la durée moyenne des communications est plus longue ? L'identification automatique de groupes dans des réseaux est un sujet qui a donné lieu à de nombreux travaux mathématiques et algorithmiques ces dernières années ; voir par exemple (Fortunato, 2010) pour une revue. La mesure la plus largement utilisée pour quantifier la qualité du découpage d'un réseau en groupes est la "modularité" introduite par Newman (2006). La modularité d'un découpage en groupes compare la densité des liens entre les membres d'un groupe à celle obtenue dans un groupe aléatoire possédant les mêmes caractéristiques globales. Une mo-

dularité élevée indique que la densité des liens au sein des groupes est significativement plus élevée que ce à quoi on pourrait s'attendre dans un découpage aléatoire de caractéristiques équivalentes. Cette mesure n'impose aucune taille particulière pour les groupes et elle ne fixe pas non plus a priori le nombre des groupes.

La recherche d'un découpage d'un réseau qui maximise la modularité est un problème ardu pour lequel plusieurs méthodes de résolution ont été proposées ces dernières années. Une brève description de la méthode utilisée dans cet article et connue sous le nom de « *méthode de Louvain* » est donnée ci-dessous. Nous invitons le lecteur non intéressé par cette description plus technique de passer directement à la Section 3 tout en retenant que :

le regroupement des communes se fait sans aucune mesure de centralité ou d'accessibilité : seule compte la fréquence ou la durée moyenne des liens entre les 589 communes ;

le nombre de groupes et la composition des groupes sont endogènes : c'est la méthode qui fournit automatiquement le nombre optimal de groupes et leur composition, sans aucune intervention extérieure ;

la méthode est bien définie mathématiquement : elle tente à optimiser la modularité du découpage obtenu. La méthode a par ailleurs été utilisée avec succès dans de nombreux contextes (voir Lancichinetti, 2009), et elle est disponible dans plusieurs logiciels de traitement automatique de réseaux, comme la librairie *igraph* (<http://igraph.sourceforge.net/>) ou le logiciel NetworkX (<http://networkx.lanl.gov/>).

Décrivons maintenant brièvement la méthode; pour une description plus détaillée, nous envoyons le lecteur intéressé à Blondel *et al.* (2008) ou Aynaud *et al.* (2010). La méthode utilise un algorithme glouton pour regrouper les nœuds du réseau (ici, les communes) en étapes successives et construit une hiérarchie de réseaux. Au niveau le plus bas de la hiérarchie, les nœuds forment d'abord tous des groupes distincts. Ensuite, à chaque itération, la méthode sélectionne un nœud d'un groupe et l'ajoute au groupe qui maximise l'apport résultant de modularité si cet apport est positif. Lorsque toute modification du rattachement d'un nœud diminue la modularité, un nouveau réseau est construit dont les nœuds sont les groupes du réseau de niveau inférieur et le processus est répété sur ce nouveau réseau.

Notons que les résultats de la méthode dépendent de l'ordre dans lequel les nœuds sont parcourus. Pour vérifier la *robustesse* de la méthode par rapport à cet ordre de parcours, nous avons réalisé 100 permutations aléatoires de l'ordre des données et nous avons ensuite comparé les groupes obtenus. Lorsque le critère utilisé est la fréquence des communications, nous observons qu'en moyenne 91% des communes restent dans les mêmes groupes. Par ailleurs, on peut vérifier que ces variations correspondent toujours à des modifications de communes limitrophes qui passent d'un groupe à un groupe adjacent. Lorsque le critère utilisé est la durée moyenne des communications, nous n'avons observé aucune variation des groupes obtenus avec l'ordre de parcours des données. On vérifie par ailleurs, dans ce dernier cas, que tout transfert d'une commune d'un groupe à l'autre groupe diminue bien la modularité. Ces observations apparaissent comme des gages supplémentaires de la stabilité et de la robustesse des deux groupes obtenus dans le cas du temps moyen de communication.

3. Résultats : découpage de l'espace téléphonique belge

3.1 Découpage sur la base des fréquences des appels

La Figure 2 illustre les groupes obtenus sur la base de la *fréquence* des communications téléphoniques entre communes. Les couleurs n'ont pas de signification particulière et visent simplement à faciliter la lecture de la carte.

Nos commentaires principaux se résument en 4 points :

(1) Sans avoir fixé a priori le nombre de groupes ni leur taille, les groupes optimaux obtenus sont spatialement *équilibrés* : 17 « bassins téléphoniques » composés de 15 à 66 communes apparaissent « naturellement ». Ce résultat est différent du découpage en bassins d'emploi (47 bassins définis par de Wasseige *et al.*, 2000) et ressemble sans être identique à la hiérarchie urbaine de Van Hecke *et al.* (2007). A cet effet, nous avons représenté sur la carte de la Figure 2 les villes régionales et les grandes villes telles que définies dans Van Hecke *et al.* (2007). On note que certains bassins de téléphonie englobent deux villes (par exemple la côte belge forme un bassin de téléphonie à part entière et regroupe les villes d'Ostende et de Bruges; autres exemples : Hasselt et Genk ou Malines et Louvain), alors que d'autres bassins de téléphonie ne correspondent à aucune « ville régionale » au sens de Van Hecke *et al.* (2007) (par exemple Alost à l'ouest de Bruxelles est un bassin de téléphonie alors que Alost n'est pas considérée

comme « ville régionale » ; idem pour la province de Luxembourg).

(2) De façon surprenante, les groupes de communes sont toujours constitués de *communes adjacentes*. Puisque la méthode de groupement n'impose aucune contrainte de proximité ou de contiguïté, les résultats auraient en effet pu révéler des groupes composés de parties disjointes ou d'inclusions, mais tel n'est pas le cas pour les groupes obtenus.

(3) La frontière linguistique est suivie par les limites des « bassins téléphoniques », à l'exception du bassin de Bruxelles (en rouge sur la carte) et des communes à facilités d'Espierre-Helchin, Comines-Warneton, Herstappe et Fourons. La langue semble donc bien être une barrière forte en matière de communications téléphoniques : ceci confirme les résultats plus anciens de Klaassen *et al.* (1972), Rossera (1990) ou Rietveld et Janssen (1990). Par contre, il convient de noter que la barrière autour de la région germanophone est moins nettement marquée.

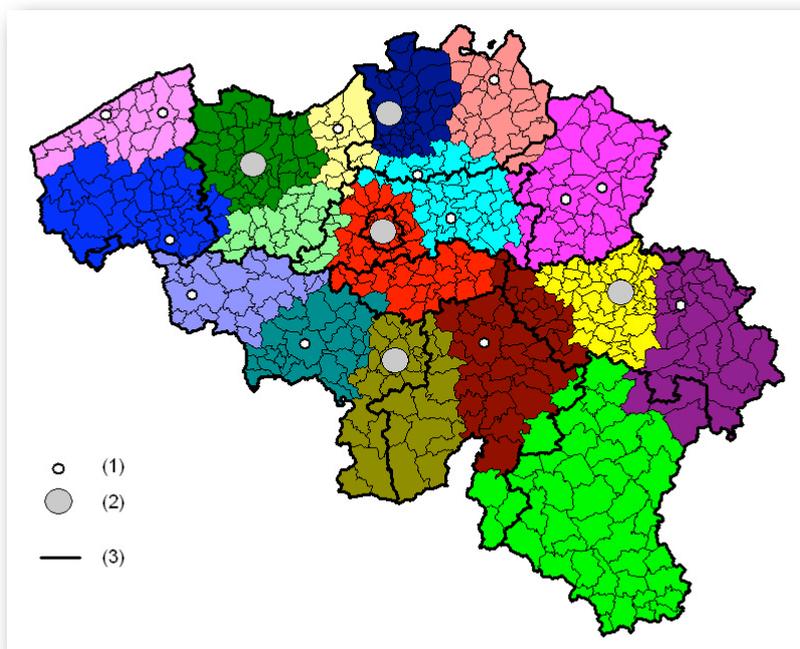


Figure 2 : « Bassins de téléphonie » définis sur la base de la fréquence des communications entre communes. Nous représentons aussi (1) = ville régionale (2) grande ville (définitions de Van Hecke *et al.*, 2007) et (3) : limite de provinces.

(4) Le plus grand bassin obtenu (66 communes) correspond - sans surprise - à la plus grande ville : *Bruxelles*. La Figure 3 propose un agrandissement de la Figure 2 centré sur Bruxelles. Les limites de l'agglomération urbaine de Bruxelles font depuis longtemps l'objet de nombreux débats politiques et scientifiques (voir par exemple la revue sur la question scientifique faite par Dujardin *et al.*, 2007). Les limites obtenues pour l'agglomération dépendent souvent des critères utilisés et il n'y a pas de consensus en termes de méthodologie. Une chose est toutefois certaine : Bruxelles, comme bien d'autres villes dans le monde, déborde de ses limites administratives et le « bassin de téléphonie » bruxellois illustre à nouveau cette réalité. Le bassin s'étend non seulement aux 19 communes de la Région de Bruxelles Capitale mais également à des communes directement contiguës, et ce, quelle que soit la direc-

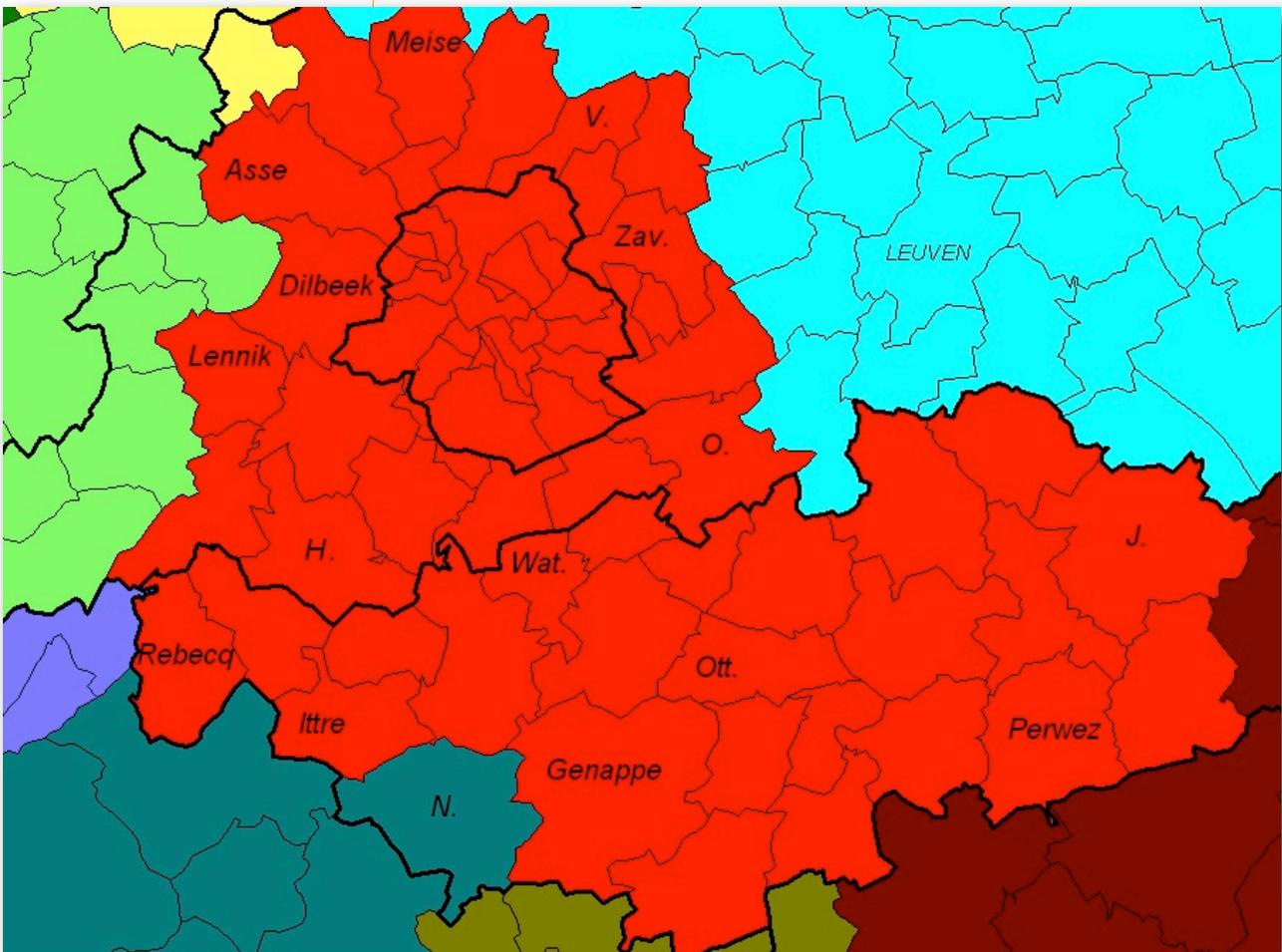


Figure 3 : « Bassin de téléphonie mobile » de Bruxelles (zoom de la Figure 2).
Liste complète des communes reprise à l'Annexe 1.

tion géographique, avec toutefois une extension spatiale plus forte vers le Brabant Wallon qu'il englobe totalement à l'exception de Nivelles et de deux communes à l'extrême Est (Hélicine et Orp-Jauche). Cette extension vers le sud est à associer à l'histoire de la périurbanisation bruxelloise couplée à une réalité linguistique et socio-économique (voir entre autre Thisse et Thomas, 2010). Le bassin de téléphonie mobile bruxellois englobe des communes comme Halle, Vilvorde, Zaventem, Tervuren, Braine-l'Alleud, Ottignies-Louvain-la-Neuve, Wavre, Perwez ou Jodoigne. Par contre, Louvain n'en fait pas partie et est incluse dans un autre bassin téléphonique avec Malines (voir Figure 2). Le bassin de téléphonie bruxellois est à l'image du fonctionnement de son agglomération : bien plus étendu que les 19 communes de la Région de Bruxelles Capitale, tout autour de la capitale avec une extension spatiale plus forte vers le sud.

3.2 Découpage sur la base des durées moyennes des communications

Les communes sont ici regroupées avec la même méthode, mais en fonction de la durée moyenne des communications. Les résultats sont illustrés aux Figure 4

(échelle nationale) et 5 (zoom sur Bruxelles) et conduisent aux deux commentaires principaux suivants :

(1) la méthode conduit naturellement à la constitution de deux groupes : l'un au nord et l'autre au sud du pays (Figure 4). Parmi les plus de 200 millions de communications analysées, seulement 1,05% vont du groupe nord au groupe sud et 1,04% vont du groupe sud au groupe nord ; en d'autres termes, près de 98% des communications téléphoniques se font entre des abonnés d'un même groupe. Notons ici que les communes de la communauté germanophone ne

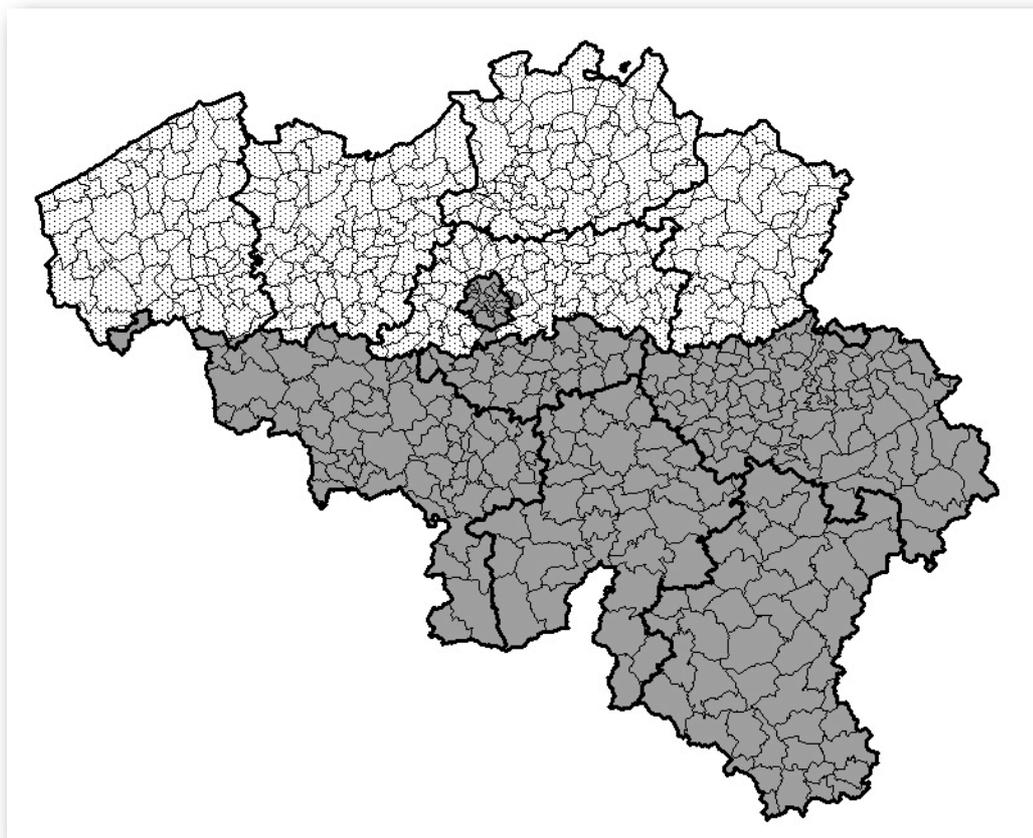


Figure 4 : « Bassins de téléphonie mobiles » définis sur la base de la durée moyenne des communications.

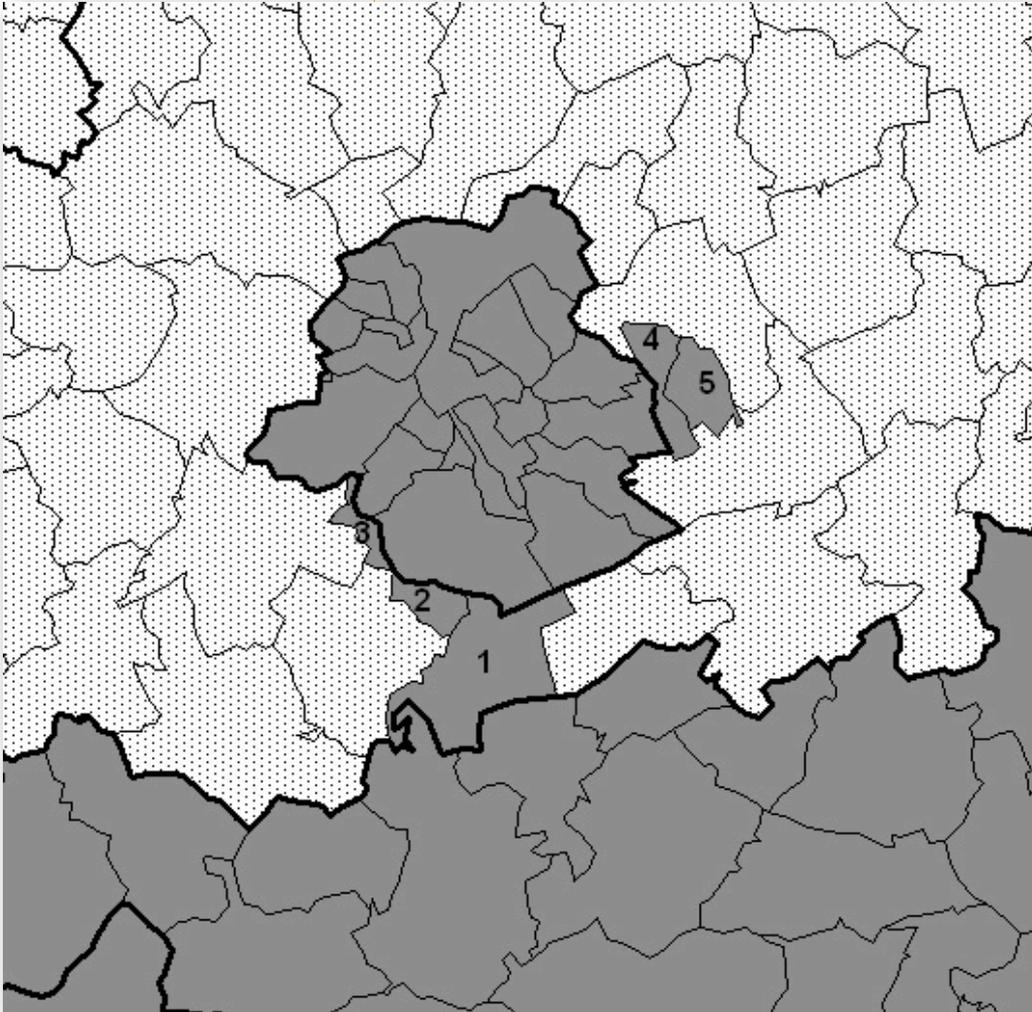


Figure 5 : Regroupement des communes sur la base de la durée moyenne des communications. Zoom sur la Région de Bruxelles Capitale où 1 = Rhode-Saint-Genèse, 2 = Linkebeek, 3 = Drogenbos, 4 = Crainhem et 5 = Wezembeek-Oppem.

forment pas un groupe à part entière, mais font partie du groupe du sud du pays.

(2) Au vu de la Figure 4, on constate que le découpage nord-sud suit la *frontière linguistique* à quelques exceptions près. Sans surprise, ces exceptions sont toutes des communes à facilités. A l'exception de Wemmel, les communes à facilités de la périphérie bruxelloise (Drogenbos, Crainhem, Linkebeek, Rhode-Saint-Genèse, Wezembeek-Oppem) sont toutes regroupées avec les communes du sud du pays (voir zoom à la Figure 5). Trois autres communes à facilités de la région flamande et situées hors de l'influence de Bruxelles font également partie du groupe du sud du pays: Espierres-Helchin, Fourons et Herstappe. Enfin, toutes les autres

communes à facilités sont, elles, associées au groupe de leur région linguistique : Comines-Warнетon, Enghien, Flobecq et Mouscron (groupe du sud), et Messines, Biévènes et Renaix (groupe du nord).

4. Conclusion

Sur la base d'une analyse de plus de 200 millions de communications téléphoniques entre plus de deux millions d'utilisateurs de téléphones mobiles, les 589 communes belges sont regroupées en groupes de communes, ou « bassins téléphoniques ». Deux analyses sont conduites : l'une sur la base des fréquences relatives des communications et l'autre sur la base de leur durée moyenne.

Les groupes sont obtenus au moyen d'une méthode d'analyse de réseaux largement utilisée dans la communauté scientifique. La méthode ne prend en compte ni la distance géographique entre les communes, ni leur appartenance à une communauté ou à une région. Elle ne prend pas non plus en compte la langue utilisée pour la facturation; seules la fréquence relative et la durée moyenne des communications sont utilisées. Le nombre de groupes et la composition de ces groupes sont fournis par la méthode elle-même, sans aucune intervention externe. Dans les deux cas, on observe que tous les groupes sont formés de communes adjacentes et ce malgré l'absence de toute contrainte de contiguïté.

Dans le cas de la fréquence d'appel, 17 groupes apparaissent et rappellent le découpage en aires urbaines tout en respectant globalement la frontière linguistique.

Dans le cas des durées moyennes, seuls deux grands groupes apparaissent : l'un au nord et l'autre au sud. Ces deux groupes concentrent en leur sein près de 98% des appels téléphoniques ; seuls 2% des appels lient des communes de groupes différents. Les communications semblent donc fortement influencées par la proximité géographique et psychologique (incluant les dimensions linguistique et culturelle), confirmant ainsi les études spatiales de Klaassen et al. 1972, Rossera, 1990 ou Rietveld et Janssen, 1990 voire les discussions générales sur l'évolution des communications de Bakis (1995).

Nous proposons dans cet article deux cartes de bassins téléphoniques. Ces cartes n'ont pas d'autre prétention que d'aider à réfléchir à nos manières de penser l'espace belge, et plus particulièrement l'espace bruxellois. Elles apportent aussi un éclairage sur nos différences sociales et culturelles qui conduisent à des pratiques de l'espace autres que nos différences socio-économiques (voir par exemple Thisse et Thomas, 2010). Les différences entre ces cartes nous rappellent que tout découpage de l'espace dépend étroitement des critères utilisés ; durée moyenne et fréquence relative des communications conduisent à des découpages différents de l'espace. Les frontières mises en évidence dans cet article révèlent des éléments importants de nos « bassins de vie » et de nos pratiques sociales dont il semble possible de tenir compte pour l'organisation administrative et géopolitique de la Belgique.

Bibliographie

- AYNAUD T., BLONDEL V., GUILLAUME J.-L., LAMBIOTTE R. (2010), Optimisation locale multi-niveaux de la modularité, in *Partitionnement de graphe : optimisation et applications*, Traité IC2, Hermes-Lavoisier.
- BAKIS H. (1995), Communication et changement global: un défi politique et culturel *International Political Science Review / Revue Internationale de Science Politique*, 16:3, pp. 225-235
- BLONDEL V., GUILLAUME J.-L., LAMBIOTTE R., LEFEBVRE E. (2008), Fast Unfolding of Communities in Large Networks, *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, P10008, 12p.
- CARROTHERS G. (1956), An Historical Review of the Gravity and Potential Concepts of Human Interaction, *Journal of The American Institute of Planners*, 22, pp. 94-102.
- DE WASSEIGE Y., LAFFUT M., RUYTERS C., SCHLEIPER P. (2000), Bassins d'emploi et régions fonctionnelles. Méthodologie et définition des bassins d'emploi belges, *Service des Etudes et de la Statistiques*, Discussion Paper 2005, 24p.
- DUJARDIN C. (2001), Effet de frontière et interaction spatiale. Les migrations alternantes et la frontière linguistique en Belgique, *L'Espace Géographique*, 30, 4, 307-320.
- DUJARDIN C., Thomas I., Tulkens H. (2007), Quelles frontières pour Bruxelles ? Une mise à jour, *Reflets et Perspectives de la Vie Economique*, XLVI : 2-3, pp. 155-176.
- FORTUNATO S. (2010), Community Detection in Graphs, *Physics Reports* 486, pp. 75-174.
- HALLEUX J.-M., RIXHON G., KAMBOTTE J.-M., MÉRENNE-SCHOUMAKER B. (2007) Les navettes scolaires en Belgique: situation en 2001 et évolution 1991-2001. Bruxelles, SPF Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie, Working Paper.
- HAYNES a K. and FOTHERINGHAM A.S. (1984), *Gravity and Spatial Interaction Models*, Beverly Hills, Sage, 259p.
- KLAASSEN L., WAGENAAR S., VAN DER WEG A. (1972), Measuring Psychological Distance between the Flemings and the Walloons, *Journal in Regional Science*, 29:1, 45-62.
- KRINGS G., CALABRESE F., RATTI C., BLONDEL V. (2009), Urban Gravity: a model for inter-city telecommunication flows, *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, L07003 (8 pp.), 2009.
- LAMBIOTTE R., BLONDEL V., De KERCHOVE C., HUENS E., PRIEUR C., SMOREDA Z., VAN DOOREN P. (2008), Geographical Dispersal of Mobile Communication Networks, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387, pp. 5317-5325.

- LANCICHINETTI A. et FORTUNATO S. (2009), Community Detection Algorithms: A comparative analysis, *Physical Review E* 80, 056117 .
- LOCKHART P. et VANDERMOTTEN C. (2009), *Atlas des dynamiques territoriales. Fiche : Les bassins d'emploi en 2001*. Atlas en ligne, CPDT
<http://www.cpd.be/telechargement/atlas-dt/fiches/Bel-Bassins-emploi.pdf>
- MÉRENNE B. (2010), *Aménagement du territoire et bassins de vie*, Conférence à la Maison de l'Urbanisme du Pays de Liège, 9 mars 2010
www.maisondelurbanite.org/fichiers_annexes/MerenneB.ppt
- NEWMAN M. (2006), Modularity and Community Structure in Networks, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 103:23, pp. 8577–8582.
- PALM R. (2002), International Telephone Calls : Global and Regional Patterns, *Urban Geography*, 23 :8, pp 750-770.
- PRAGER, J.-C. et J.-F. THISSE (2010), *Economie géographique et développement économique*. La Découverte, Collection Repères.
- PUMAIN D. et SAINT-JULIEN T. (2001), *Les interactions spatiales*, Paris, Armand Colin, Cursus-géographie, 191 p.
- RIETVELD P. et JANSSEN L. (1990), Telephone Calls and Communication Barriers: The Case of the Netherlands, *The Annals of Regional Science*, 24(4), pp. 307-18.
- ROSSERA F. (1990), Discontinuities and Barriers in Communications. The Case of Swiss Communities of Different Language, *Annals of Regional Sciences*, 24, 319-336
- ROY J. (2004) *Spatial Interaction Modelling: A Regional Science Context*, Berlin, Springer, 239p.
- SEN A. et Smith T. (1995), *Gravity Models of Spatial Interaction Behavior*. New York, Springer.
- TAYLOR P. (1983) Distance Decay in Spatial Interactions, *Catmog (Concepts and Techniques in Modern Geography)* 2, 35p.
- THISSE J.-F. et THOMAS I. (2010), Bruxelles au sein de l'économie belge : un bilan. *Regards Economiques*, 80 (juin 2010), 18p.
- VAN HECKE E., HALLEUX J.-M., DECROLY J.-M., MÉRENNE-SCHOUMACKER B. (2007), *Noyaux d'habitat et régions urbaines dans une Belgique urbanisée*, Bruxelles, Monographies Enquête Socio-économique 2001, n°9, Bruxelles, SPF Economie en Politique Scientifique Fédérale. 201p.
- VERHETSEL A., VAN HECKE E., THOMAS I., BEELEN M., HALLEUX J., LAMBOTTE J., RIXHON G. & B. MÉRENNE-SCHOUMACKER (2009), *Le mouvement pendulaire en Belgique. Les déplacements domicile-lieu de travail. Les déplacements domicile-école* in Monographies Enquête Socio-économique 2001, n°10, Bruxelles, SPF Economie en Politique Scientifique Fédérale. 217p.

Annexe 1 : Liste des communes appartenant au « bassin de téléphonie mobile » de Bruxelles

Anderlecht	Linkebeek
Asse	Machelen
Auderghem	Meise
Beauvechain	Merchtem
Beersel	Molenbeek-St-Jean
Berchem-Ste-Agathe	Mont-St-Guibert
Braine-L'Alleud	Ottignies-LLN
Braine-Le-Château	Overijse
Bruxelles	Pepingen
Chastre	Perwez
Chaumont-Gistoux	Ramillies
Court-Saint-Etienne	Rebecq
Dilbeek	Rixensart
Drogenbos	Saint-Gilles
Etterbeek	Saint-Josse
Evere	Schaerbeek
Forest	Sint-Genesius-Rode
Ganshoren	Sint-Pieters-Leeuw
Genappe	Steenokkerzeel
Grez-Doiceau	Tervuren
Grimbergen	Tubize
Halle	Uccle
Hoeilaart	Villers-La-Ville
Incourt	Vilvoorde
Ittre	Walhain
Ixelles	Waterloo
Jette	Watermael-Boitsfort
Jodoigne	Wavre
Koekelberg	Wemmel
Kraainem	Wezembeek-Oppem
La Hulpe	Woluwe-St-Lambert
Lasne	Woluwe-St-Pierre
Lennik	Zaventem