

Faculté des sciences

École de Géographie

Bassins d'emploi en Belgique en 1991, 2001 et 2011 : quelles réalités pour quelles méthodes ?

Auteur : Quentin Igot

Promotrice : Professeure Isabelle Thomas

Lectrices : Professeure Marie-Laurence De Keersmaecker et

Professeure Sophie Vanwambeke

Année académique 2020-2021

Master 120 en sciences géographiques, orientation générale à finalité approfondie

Remerciements

Plusieurs personnes m'ont apporté leur aide dans la réalisation de ce mémoire et je tiens à les remercier de leur soutien.

Je remercie ma promotrice, la Professeure Isabelle Thomas pour sa disponibilité et ses conseils en ces temps difficiles de pandémie. Je remercie également Monsieur Gaëtan Montero Redondo pour son aide concernant la partie pratique du mémoire et ses éclaircissements pertinents.

Je suis heureux d'avoir partagé cette année avec mes camarades de master 2 qui, malgré la distance, m'ont permis de me changer les idées et m'ont soutenu.

Je suis également reconnaissant envers mon frère, mon père et ma mère pour avoir été présent tout au long de l'année pour moi, pour m'avoir supporté et pour avoir relu mon mémoire.

Finalement, je tiens remercier plus particulièrement Laure pour son soutien infailible et pour m'avoir remonté le moral quand j'étais en période d'incertitude.

En ces temps incertains, il est indéniable que la réalisation de ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'aide de toutes les personnes que je viens de citer.

Résumé

Le territoire belge a subi plusieurs évolutions au cours du temps. Ces évolutions sont dues, en partie, aux déplacements domicile-travail. Ces dernières décennies, la distance entre le lieu de travail et le domicile des travailleurs belges a augmenté. Comprendre comment le territoire s'organise autour de ces déplacements est un enjeu important pour les politiques de développement territorial. Définir des bassins d'emploi sur base des navettes domicile-travail permet d'illustrer cette organisation territoriale. Différentes méthodes existent afin de regrouper des entités en bassins d'emploi. Chacune de ses méthodes a des objectifs différents. La réalité territoriale qu'elles décrivent varie donc en fonction de leur nature. Cette étude poursuit deux objectifs majeurs. Le premier est d'analyser les différences entre les bassins d'emploi belges de 2001 et ceux de 2011. Le second vise à comparer les résultats de trois différentes méthodes de délimitation en bassins d'emploi. Quelques questions secondaires liées à des problématiques propres à ces méthodes sont également soulevées. Les résultats montrent que les bassins d'emploi définis en 2001 et en 2011 sont similaires. Ils ont donc une empreinte territoriale forte et stable depuis la désindustrialisation qu'a connue la Belgique dans la seconde partie du 20^e siècle. Les méthodes utilisées présentent chacune des avantages et des inconvénients. La connaissance de ceux-ci permet une interprétation différente des résultats.

Abstract

Belgian territory has undergone several evolutions over the years. These evolutions are partially driven by commuting. In the last couple of decades, the distance between the workplace and the domicile of the Belgian workers has increased. Understanding how the territory is organized by those travels is a relevant topic for territorial development strategies. Determining job basins according to commuting provides insight on the organisation of the territory. Different methods exist to group entities in job basins. Each of those methods has different objectives. The territorial reality described by those methods depends on their type. This research pursues two main objectives. The first one is to analyse the differences between Belgian job basins of 2001 and those of 2011. The second one is to compare the results of three different methods delimiting job basins. Some side questions linked to the problematic of these methods are also addressed. The results show that the job basins of 2001 and those of 2011 are similar. Job basins have a strong territory footprint. This footprint has been stable since Belgium experienced deindustrialisation in the second half of the 20th century. Each method employed in this research presents benefits and drawbacks. The knowledge of those allows a different interpretation of the results.

Table des matières

CHAPITRE 1. Introduction	2
CHAPITRE 2. Revue de la littérature	4
2.1 Déplacements domicile-travail belges	4
2.1.1 Contexte et évolution historique	4
2.1.2 Chiffres et évolution récente	5
2.2 Etudes sur les bassins d'emploi en Belgique et en Wallonie.....	10
2.2.1 Monographies du recensement : méthode de la première navette	11
2.2.2 Classification hiérarchique ascendante : ANABEL	12
2.2.3 Détection de communautés : méthode de Louvain	16
2.2.4 Comparaison des méthodes	19
CHAPITRE 3. Méthodologie.....	21
3.1 Objectif général et organigramme	21
3.2 Données	22
3.2.1 Déplacements domicile-travail en Belgique	22
3.2.2 Déplacements domicile-travail luxembourgeois	24
3.2.3 Nombre d'actifs belges par commune	25
3.3 Méthode de Louvain*	25
3.4 Méthode de Leiden	26
3.5 Méthode de la première navette.....	27
3.6 Modèle gravitaire simple	27
CHAPITRE 4. Résultats	29
4.1 Méthode de Louvain*	29
4.1.1 Résolution ρ fixe.....	29
4.1.2 Nombre fixe de communautés	30
4.1.3 Sensibilité aux self-loops	32
4.1.4 Sensibilité aux flux belgo-luxembourgeois.....	32
4.1.5 Arrondissements et agrégation spatiale	33
4.1.6 Synthèse des résultats de la méthode de Louvain*	35
4.2 Méthode de Leiden	35
4.2.1 Résolution ρ fixe.....	35

4.2.2	Nombre fixe de communautés	36
4.3	Méthode de la première navette.....	38
4.4	Modèle gravitaire simple.....	39
4.5	Synthèse des résultats.....	41
4.5.1	Méthodologie.....	41
4.5.2	Réalité géographique belge	42
4.5.3	Différence 2001-2011.....	42
CHAPITRE 5.	Discussion	43
5.1	Méthodes utilisées et leurs réalités	43
5.2	Limites.....	45
5.3	Géographie économique de la Belgique	45
CHAPITRE 6.	Conclusion.....	46
	Bibliographie.....	47
	Liste des figures	51
	Liste des tableaux	53
	Annexe.....	54

CHAPITRE 1. Introduction

La structure urbaine et paysagère belge a subi plusieurs évolutions au cours du temps. Un moteur principal de ces évolutions est les déplacements quotidiens effectués par les travailleurs entre leur domicile et leur lieu de travail. En effet, chaque jour, des milliers de travailleurs belges se déplacent au moyen de différents modes de transport et empruntent les infrastructures diverses du pays. Celles-ci façonnent le territoire.

Au début de la révolution industrielle, les déplacements domicile-travail étaient petits car les travailleurs habitaient au plus près de leur lieu de travail. Avec l'adoption de nouveaux moyens de transport, les déplacements se sont progressivement allongés. Aujourd'hui, le choix modal préféré des Belges est et reste la voiture (SPF Mobilité, 2019). Les études (Gimenez-Nadal et al., 2020 ; Verhetsel et al., 2009) montrent notamment que, ces dernières décennies, les déplacements domicile-travail s'effectuent sur des distances toujours plus grandes.

Afin de mener des politiques de développement territorial adéquates, il est important de comprendre comment le territoire s'organise autour de ces déplacements. Pour ce faire, il est possible de délimiter des bassins d'emploi à partir des données sur les navettes. Par définition, ceux-ci sont des espaces géographiques dont le découpage est réalisé au moyen des flux domicile-travail (INSEE, 2015). Cependant, le groupement en bassins d'emploi est fortement dépendant de la méthodologie utilisée car chaque méthode décrit une réalité territoriale différente.

En géographie, les méthodes utilisées ont évolué avec le temps. Si elle a commencé en tant que science empirique, elle a ensuite évolué vers une science positiviste à la recherche de grandes lois universelles. C'est à partir de ce moment-là que le géographe s'est appuyé sur des méthodes issues des statistiques et des mathématiques (Johnston et al., 2019 (1) ; Johnston et al., 2019 (2)). Ces dernières années, l'avènement des *big data* et des technologies de l'information et de la communication a amené les scientifiques à développer de nouveaux algorithmes afin de pouvoir traiter efficacement l'afflux de données. Certaines de ces nouvelles méthodes peuvent être empruntées par le géographe afin de mener ses analyses sur le territoire. Trois méthodes aux origines différentes ont notamment été appliqués en Belgique pour définir des bassins d'emploi au moyen des déplacements domicile-travail.

La première s'appelle la méthode de la première navette et a été appliquée dans les monographies du recensement (Marissal et al., 2006). Il s'agit d'une méthode simple qui définit des centres d'emploi sur base de critères objectifs. La seconde a été utilisée par l'Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE) et par la Wallonie (Lambotte et al., 2011 ; INSEE, 2015 ; Lambotte et al., 2016). Il s'agit d'une méthode statistique qui a été développée par l'INSEE sur base d'une classification hiérarchique ascendante. Elle connaît différentes appellations (ANABEL ou MIRABEL). Cette méthode est contraignante car elle requiert une intervention externe de l'analyste. La dernière est une méthode de détection de communautés qui provient des *data science* et des analyses de graphes. Elle s'appelle la

méthode de Louvain et permet de diviser de manière optimale un réseau en communautés (Blondel, 2008). Concrètement, un réseau est un large ensemble de nœuds (pouvant être des communes par exemple) qui sont en interaction les uns avec les autres. Une communauté est donc un sous-ensemble du réseau comprenant des nœuds fortement connectés. Dans l'étude des bassins d'emploi, ces nœuds représentent des lieux liés par une variable d'interaction que sont les déplacements domiciles-travail. Cette méthode récente a l'avantage de ne demander, à priori, aucune intervention extérieure et de définir les groupes de manière endogène.

Ces trois méthodes se distinguent par leur méthodologie qui dépend de l'objectif recherché par l'étude. L'étude d'Adam et al., 2018 illustre notamment cela en comparant la méthode ANABEL à la méthode de Louvain. Il est donc essentiel de veiller à interpréter les résultats de ces études en fonction des objectifs poursuivis par chacune d'elle. En Belgique, bien que l'évolution des bassins d'emploi ait déjà été étudié via ANABEL, aucune étude n'a, à priori, utilisé la détection de communautés pour analyser les différences pouvant exister en matière de bassins d'emploi entre plusieurs décennies.

Ce mémoire poursuivra donc deux objectifs majeurs. Premièrement, afin de caractériser une éventuelle évolution, il visera à analyser les différences entre les bassins d'emploi belges délimités à l'échelle communale de 2001 et ceux de 2011. Deuxièmement, il comparera différentes méthodes de délimitation de bassins d'emploi et expliquera les réalités que ces méthodes décrivent. Ce mémoire poursuivra également quatre objectifs secondaires. Le premier est l'étude de l'impact des flux transfrontaliers sur la délimitation des bassins d'emploi belges. Le second vise à comprendre les différences obtenues en termes de bassins d'emploi en fonction de l'inclusion ou de l'exclusion des flux intra-communaux. Le troisième est de traiter le problème d'agrégation spatiale grâce à des données à l'échelle des arrondissements pour 1991, 2001 et 2011. Le dernier objectif secondaire est d'estimer les flux domicile-travail au moyen d'un modèle gravitaire et de comparer les bassins d'emploi obtenus via ceux-ci avec ceux obtenus grâce aux flux réels.

Pour répondre à ces objectifs, le chapitre 2 dressera une revue de la littérature sur l'évolution des déplacements domicile-travail à travers le temps et sur l'état actuel de ceux-ci. Ensuite, les études sur les bassins d'emploi belges seront abordées et leurs résultats seront analysés. La revue de la littérature se conclura par une comparaison des trois principales méthodes discutées. Dans ce mémoire, deux méthodes de détection de communautés et la méthode de la première navette seront utilisées. Le fonctionnement de celles-ci et les données utilisées seront détaillés dans le chapitre 3. Les résultats obtenus par chaque méthode seront analysés, comparés et expliqués au vu de la revue de littérature dans le chapitre 4. Finalement, une discussion des résultats, des méthodes et de leurs limites sera menée dans le chapitre 5.

CHAPITRE 2. Revue de la littérature

2.1 Déplacements domicile-travail belges

Les déplacements domicile-travail peuvent être définis comme tous les déplacements effectués par les citoyens entre leur lieu de résidence et leur lieu de travail (Verhetsel et al., 2009). Ceux-ci structurent en partie le territoire, les réseaux de transport et l'espace économique belge (Marissal et al., 2006 ; Lambotte et al., 2011 ; Ermans et al., 2017). Afin de comprendre l'évolution des déplacements domiciles-travail, il est important de comprendre l'évolution historique du territoire belge et plus particulièrement le processus d'urbanisation depuis le 19^e siècle (Verhetsel et al., 2009). Les déplacements domiciles-travail dépendent en effet du mode de transport mais aussi de la répartition de l'habitat et de l'aménagement du territoire (Ermans et al., 2018).

2.1.1 Contexte et évolution historique

Jusqu'au début du 19^e siècle, la plupart des villes étaient cantonnées à l'intérieur de leurs remparts médiévaux. Cependant, avec le début de la révolution industrielle, les activités économiques des secteurs secondaire et tertiaire ont induit une forte croissance urbaine et une densification. En effet, les usines et les industries se sont développées en dehors du centre et ont attiré une main d'œuvre conséquente. Les moyens financiers de ces travailleurs étant faibles, ils se logèrent sur place dans des maisons souvent plurifamiliales. Ainsi, les déplacements domicile-travail étaient presque nuls. L'exode rural commençait alors en Belgique (Verhetsel et al., 2009).

Jusqu'à la Première Guerre mondiale, cette urbanisation continua, franchit les remparts et s'étendit de plus en plus loin du centre historique. Quelques changements apparurent. A partir de 1870, le chemin de fer fournit des abonnements à des prix abordables aux ouvriers. Ceux-ci purent alors continuer à habiter à la campagne tout en travaillant en ville. C'est ainsi que débuta une vague de migration alternante. Elle fut amplifiée avec le développement, à partir de 1885, d'un réseau dense de Tramway vicinal. Ce réseau a notamment permis à la Belgique de connaître un exode rural inférieur aux pays voisins. Finalement, l'adoption du vélo au début du vingtième siècle renforça le mouvement en améliorant l'accessibilité aux gares. Tous ces changements eurent pour conséquence une expansion urbaine car les prix fonciers diminuent avec la distance au centre-ville (Verhetsel et al., 2009).

Entre la Première et Deuxième Guerre mondiale, les personnes plus aisées commencent à quitter le centre pour la périphérie et la maison unifamiliale devient la norme. La densité du bâti diminue alors et le réseau de chemin de fer et de transport public continue à croître. Ainsi, Les migrations alternantes continuent également à augmenter (Verhetsel et al., 2009).

Après la Deuxième Guerre mondiale, plusieurs facteurs mènent à une désurbanisation du centre-ville et une périurbanisation progressive de la banlieue urbaine : diminution des temps de travail, volonté d'habiter à la campagne, amélioration des logements (chauffage, toilettes, douches, etc...), frais de déplacements à charge de l'employeur et développement de

l'automobile ainsi que d'un réseau d'autobus. Cela crée donc un besoin d'infrastructures routières ainsi qu'un besoin en places de parking (Verhetsel et al., 2009). Cependant, l'emploi reste concentré dans le centre-ville et en agglomération. Le nombre de navetteurs et la distance des déplacements domicile-travail augmentent.

Dans les années 80, les villes industrielles connaissent une grosse perte d'emplois à cause de la désindustrialisation. L'émigration de la ville s'amplifie alors et la recherche d'emploi se réalise dans un périmètre plus vaste. Les temps de déplacements continuent donc à augmenter. L'économie, initialement basée sur l'industrie, s'est alors tournée vers le secteur tertiaire : éducation, santé et secteur public (Sissons, 2019). Les industries sont délocalisées en périphérie à cause d'un accès de plus en plus difficile aux centres et la banlieue ne cesse de s'accroître. L'adoption de la voiture est l'élément qui a contribué le plus à l'augmentation des déplacements domicile-travail (Verhetsel et al., 2009).

Des années 90 à aujourd'hui, des politiques tendent vers une revitalisation urbaine des lieux délaissés par la désindustrialisation. Cependant, celles-ci peuvent avoir des effets pervers et peuvent entraîner un processus de gentrification, c'est-à-dire des quartiers populaires qui sont progressivement appropriés par des habitants plus aisés (Van Criekingen, 2013).

Cette évolution et l'augmentation des déplacements domicile-travail a donc entraîné une disparité territoriale entre les lieux de résidence et de travail. Il existe des effets positifs des déplacements comme des prix fonciers abordables ou un meilleur cadre de vie. Cependant, des effets négatifs non négligeables perdurent : saturation des réseaux de transport, temps perdu dans les déplacements et augmentation de la pollution (Verhetsel et al., 2009). Ainsi, le sujet des déplacements domicile-travail est devenu primordial. Il permet notamment d'adapter les infrastructures de transport à la réalité de terrain et aux navettes journalières (Ermans et al., 2017). Les déplacements domiciles-travail sont également utilisés afin de délimiter le territoire en bassins d'emploi.

2.1.2 Chiffres et évolution récente

Les résultats de trois études récentes sur les déplacements domicile-travail vont être développés ici. La première se base sur des enquêtes appelées European Working Conditions Survey (EWCS). Celles-ci recueillent des données tous les cinq ans depuis 1990 dans différents pays d'Europe (Gimenez-Nadal et al., 2020). Voici les constats pour la Belgique :

1. Le temps alloué aux déplacements domicile-travail a augmenté de six minutes en 20 ans.
2. Il y a un écart significatif entre les travailleurs et les travailleuses : les hommes passent plus de temps dans les trajets. Cet écart a même augmenté entre 1990 et 2010. Les hommes passent, en moyenne, neuf minutes de plus que les femmes dans les déplacements.
3. L'âge a un impact sur le temps de déplacement : les travailleurs âgés se déplacent plus que les jeunes travailleurs. Un an supplémentaire est associé à 0.1 minute en plus passée dans les trajets. Ainsi, un travailleur quarantenaire aura tendance à passer deux minutes en plus dans ses trajets qu'un vingtenaire.

4. Les travailleurs avec un diplôme universitaire passent environ neuf minutes de plus que les autres travailleurs dans les trajets. Cela s'explique par le fait qu'un travailleur plus formé aurait tendance à chercher un emploi plus spécialisé, nécessitant parfois de se déplacer davantage.
5. Les indépendants se déplacent environ 25 minutes de moins que les employés.
6. Les déplacements professionnels ont donc tendance à être dépendants du type d'emploi et du type de travailleur (Sissons, 2019).

La seconde étude est la monographie du recensement (Verhetsel et al., 2009). Celle-ci se base sur les données issues des recensements de 1991 et de 2001. Plus précisément, la monographie sur le mouvement pendulaire en Belgique avec les données de 2001 fournit non seulement des chiffres moyens pour l'échelle nationale mais aussi les tendances intra Belgique sur l'échelle des communes (Verhetsel et al., 2009) :

1. A l'instar de l'étude européenne de Gimenez-Nadal et al., 2020, la monographie indique que les déplacements domicile-travail ont augmenté entre 1991 et 2001. En 2001, la distance parcourue par trajet est en moyenne de 19 km, ce qui correspond à 1,8 kilomètre de plus qu'en 1991. Le taux de petites distances (moins de 10 km) s'est réduit, alors que les grandes distances deviennent de plus en plus importantes. L'augmentation de la durée des trajets s'estime à, en moyenne, deux minutes entre 1991 (27 minutes) et 2001 (29 minutes).
2. De même, en 2001, les hommes parcourent de plus grandes distances que les femmes. Plus précisément, les petites distances sont parcourues majoritairement par des femmes alors que les grandes distances concernent plus les hommes.
3. Cette étude, en opposition aux résultats de l'étude précédente, indique qu'en 2001, les travailleurs qui parcourent les plus grandes distances font partie des groupes d'âge de 25 à 29 ans et de 30 à 34 ans (respectivement 21,2 km et 20,3 km). Ces résultats s'expliquent par la difficulté pour ces catégories d'âge de trouver un emploi proche de chez eux.
4. Au niveau du moyen de transport, en 2001, les plus grandes distances sont parcourues en voiture (20,1 km), en transport organisé par l'employeur (32,1 km) et en train (46,6 km). Entre 1991 et 2001, les distances parcourues en bus, tram et métro ont diminué alors que les distances parcourues à moto (+3,5 km), en voiture (+1,9 km en tant que conducteur et +1,6 km en tant que passager) et en train (+3,3 km), ont augmenté.
5. Aucune évolution n'est perceptible entre 1991 et 2001 dans la fréquence des déplacements. Pour chaque période, 93 % des actifs se rendent sur leur lieu de travail quatre fois ou plus par semaine.
6. En 2001, de manière générale, 53,6 % des travailleurs habitent et travaillent dans le même arrondissement. Cependant, de fortes disparités spatiales apparaissent : pour les arrondissements de Ath, Thuin et Waremme, ce nombre est de moins de 30% alors que, pour les arrondissements des grandes villes telles que Antwerpen, Liège et Bruxelles, celui-ci est à plus de 65%.

7. Les plus hauts taux de travailleurs qui résident et travaillent dans la même province sont calculés en Flandre (Antwerpen et Flandre occidentale avec plus de 75%). Les provinces avec les taux les plus bas sont les deux provinces brabançonnaises à cause de la proximité de Bruxelles (46,5 % pour le Brabant Flamand et 36,4 pour le Brabant Wallon). Plus de la moitié des déplacements restent dans les limites des provinces ou des arrondissements mais le taux est plus faible en Région Wallonne que dans les deux autres régions.
8. Les déplacements à l'échelle communale peuvent être observés sur les deux figures suivantes. La première (figure 1) montre que la distance parcourue lors des déplacements domicile-travail en 2001 est plus faible pour les habitants des grandes villes (Bruxelles, Anvers, Gand, Liège et Charleroi). Les plus petites distances parcourues sont observées dans la Région de Bruxelles-Capitale. Les distances parcourues sont plus élevées en Wallonie. Cela peut être expliqué par une plus forte présence de l'emploi et une répartition plus homogène de ce dernier en Flandre. La seconde (figure 2) illustre que la distance a diminué dans quelques communes en Flandre mais que, globalement, la distance a augmenté, plus particulièrement en Wallonie et dans la province du Luxembourg. Cette augmentation significative dans le sud du pays est due à l'offre d'emploi du Grand-duché de Luxembourg et l'augmentation du prix foncier dans les communes belges proches de ce pays.

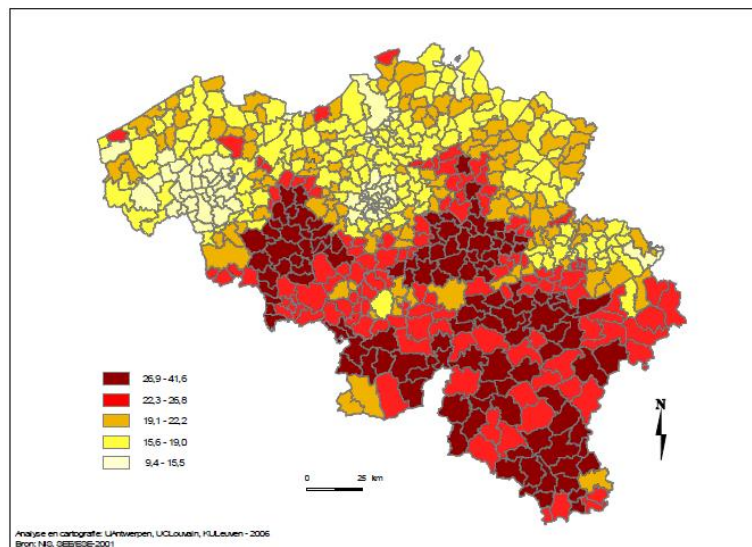


Figure 1: Distance moyenne de la navette en 2001 (km) par commune de résidence (Verhetsel et al., 2009)

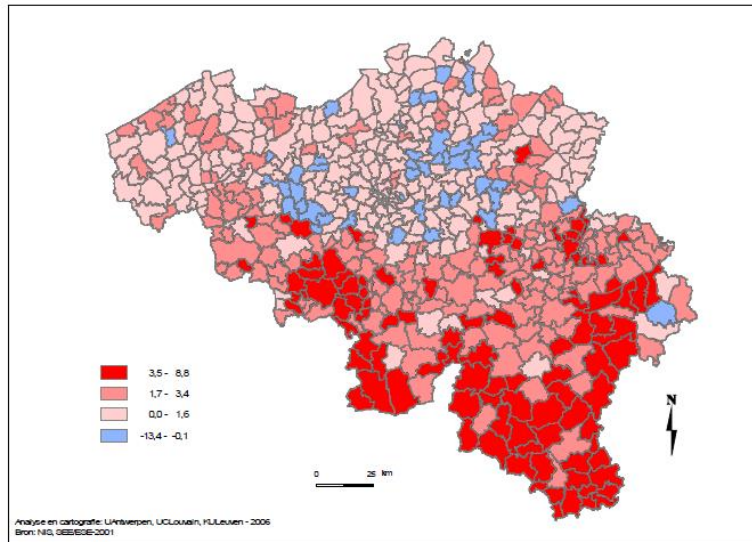


Figure 2: Évolution de la distance moyenne (km) entre 1991 et 2001 par commune (Verhetsel et al., 2009)

La troisième étude reprend les résultats d'une enquête sur les déplacements domicile-travail qui est réalisée tous les trois ans depuis 2005 par le SPF Mobilité et Transports (SPF mobilité, 2019). Cette enquête a été réalisée sur un échantillon de 1 359 908 travailleurs en 2005 et l'échantillon a augmenté pour atteindre 1 533 271 en 2017. Ces chiffres représentent plus au moins un tiers de la population active belge. Les principaux résultats de cette enquête permettent d'apporter des informations complémentaires à l'étude des monographies. Voici quelques éléments de résultats :

1. L'utilisation de la voiture a diminué de 2,7% entre 2005 et 2017 pour les travailleurs belges (tableau 1). L'utilisation du train, des transports en commun sur une courte distance (bus, tram et métro) et des vélos a quant à elle augmenté (de 11,6 %, 14,9% et 42,8% respectivement). Cependant, il existe de grandes différences régionales. En effet, la voiture est largement moins utilisée à Bruxelles (-19,9%) et légèrement moins en Flandre (-1,6%). En Wallonie, en revanche, son usage s'est accentué (+3,6%). Inversement, l'usage du train a fortement augmenté en Flandre (+28,3%) alors qu'il a diminué en Wallonie (-9,1%).
2. En 2017, le vélo est le moyen de locomotion de 17% des travailleurs flamands et de seulement 1,6% des travailleurs wallons. La voiture reste le premier moyen de locomotion des actifs des trois régions mais avec des différences significatives : 83,3% en Wallonie, 67,6% en Flandre et 36,2% à Bruxelles. Finalement, le train est fortement utilisé par les travailleurs bruxellois (34,1%) mais l'est moins par les travailleurs flamands (5,2%) et wallons (4%).
3. Comme dans les monographies, le vélo et la marche sont favorisés pour les distances domiciles-travail faibles et le train et la voiture pour les distances plus élevées. Les distances les plus élevées sont réalisées par les actifs habitant en Wallonie ou en Flandre et travaillant à Bruxelles. Les Bruxellois travaillant à Bruxelles n'effectuent quant à eux que de petits trajets.

Tableau 1: Evolution modale selon les régions (SPF mobilité, 2019)

Mode	BRUXELLES				FLANDRE				WALLONIE			
	2005	2014	2017	'05-'17	2005	2014	2017	'05-'17	2005	2014	2017	'05-'17
Voiture (seul)	45,1%	37,9%	36,2%	-19,9%	68,7%	68,5%	67,6%	-1,6%	80,4%	81,7%	83,3%	3,6%
Covoiturage	2,5%	1,2%	1,4%	-44,7%	5,2%	3,3%	2,6%	-49,1%	5,2%	3,4%	3,1%	-40,3%
Moto	0,8%	1,1%	1,3%	+70,4%	2,2%	1,3%	1,2%	-43,9%	1,5%	1,0%	0,9%	-41,9%
TCE	0,7%	0,3%	0,2%	-69,2%	1,6%	1,1%	0,8%	-50,2%	0,5%	0,4%	0,2%	-49,6%
Train	32,2%	34,1%	34,0%	+5,5%	4,1%	5,3%	5,2%	+26,3%	4,4%	5,0%	4,0%	-9,1%
Metro, tram, bus	15,0%	19,0%	19,1%	+27,5%	3,9%	3,9%	3,7%	-3,9%	3,6%	4,0%	4,1%	+12,2%
Vélo	1,2%	3,0%	4,4%	+259%	12,3%	14,9%	17,0%	+38,3%	1,3%	1,5%	1,6%	+25,7%
Marche	2,6%	3,4%	3,5%	+39,0%	2,1%	1,7%	1,7%	-16,7%	3,2%	3,1%	2,8%	-11,7%

En résumé, ces trois études indiquent que, en Belgique, les travailleurs se déplacent sur des distances plus longues aujourd'hui qu'en 1990. Cependant, de grandes disparités régionales existent que ce soit au niveau des distances ou du choix modal. La distance parcourue lors des déplacements domicile-travail a moins augmenté en Flandre et à Bruxelles qu'en Wallonie. Certaines communes flamandes ont même connu une diminution. Les déplacements varient aussi fortement en fonction du statut de travail (salarié ou indépendant), de la formation des travailleurs, du sexe, du choix modal, de l'âge et de la distance aux grandes villes pourvoyeuses d'emploi.

Cette évolution des déplacements domicile-travail a lieu malgré un développement des Technologies de l'information et de la communication (ITC). Cela confirme la théorie selon laquelle l'utilisation des ITC est complémentaire, et non un substitut, aux contacts humains. Ces contacts sont primordiaux et ne sont possibles que lorsque les travailleurs se rendent sur leur lieu de travail (Leamer et Storper, 2001). Il est à noter que le télétravail a augmenté ces dernières années mais les avis concernant son impact divergent (Andreev et al., 2010). En effet, les études montrent que télétravailler réduit le temps de déplacement (de 14 minutes pour l'étude de Lachapelle et al., 2007 et de 19 minutes pour Tanguay et Lachapelle, 2020) et diminue la distance parcourue (Shabanpour et al., 2018). Or, l'impact sur les déplacements domicile-travail semble différent. En effet, les télétravailleurs accepteraient de se déplacer sur de plus longues distances car ils doivent se rendre sur leur lieu de travail moins souvent. Ils ont une différente vision de la distance et cela favoriserait des localisations de résidence en périphérie (Ettema, 2010).

2.2 Etudes sur les bassins d'emploi en Belgique et en Wallonie

Même s'il n'existe pas de définition officielle du concept de bassin d'emploi en Belgique (Lambotte, 2018), plusieurs sources s'accordent sur un point : un bassin d'emploi regroupe des lieux proches liés par des déplacements domicile-travail importants (Verhetsel et al., 2009 ; Géoconfluences, 2015 ; INSEE, 2020). L'INSEE précise qu'une zone d'emploi est « un espace géographique à l'intérieur duquel la plupart des actifs résident et travaillent ». De plus, il ajoute qu'il ne faut pas confondre les bassins d'emploi avec les aires urbaines. En effet, ces aires s'organisent autour d'un pôle urbain et ne couvrent, par définition, pas 100% du territoire (INSEE, 2020). Les bassins d'emploi possèdent également un centre d'emploi qui est à l'origine des mouvements de navette sur les zones proches de celui-ci (Verhetsel et al., 2009). La seule contradiction entre les définitions est que l'une ne fait pas la différence entre la zone permettant à un centre de pourvoir à ses emplois (zone d'offre) et la zone à l'intérieur de laquelle les habitants trouvent un emploi (zone de demande) (INSEE, 2015). L'autre différencie celles-ci en bassin de recrutement (zone d'offre) et bassin d'emploi (zone de demande) (Verhetsel et al., 2009).

Bien que ce mémoire s'appuie sur les bassins d'emplois, il faut noter qu'un territoire peut être divisé en plusieurs types de bassins, chaque type se basant sur des interactions et des matrices origine-destination (Lambotte, 2018). Voici quelques autres exemples récurrents :

- Bassin scolaire (déplacements scolaires)
- Bassin de consommation (lié aux achats)
- Bassin de santé (lié aux besoins de santé)
- Bassin résidentiel (migrations internes)
- Bassin de vie (combinaison de plusieurs bassins)

La partition du territoire en bassins d'emploi permet de mener des études locales sur le marché du travail (INSEE, 2015). En France, l'étude des bassins d'emploi est née dans le but de trouver une échelle d'analyse se situant entre l'échelle départementale, jugée trop limitée, et celle du canton, jugée trop vaste (INSEE, 2015). De manière similaire, en Wallonie, une volonté de trouver une échelle supra-communale, permettant de s'affranchir des provinces s'est développée (Lambotte, 2018). A titre d'exemple, en Wallonie, la Conférence Permanente du Développement Territorial (CPDT) a effectué plusieurs études sur les bassins d'emploi afin de faire un état du territoire wallon (Lambotte et al., 2011 ; Lambotte et al., 2016). Ces études avaient pour but d'alimenter les réflexions relatives au schéma de développement de l'espace régional (SDER). Le SDER est un outil servant de référence pour le développement et l'aménagement du territoire wallon (SPW territoire, 2021). Cependant, il est important de noter que le découpage en bassins d'emploi n'est pas « une finalité en tant que telle, il constitue un point de départ théorique pour une réflexion, qui intégrera progressivement les contraintes du réel » (De Wasseige et al., 2000).

Deux phénomènes principaux influencent l'évolution des bassins d'emploi : la métropolisation et la périurbanisation qui sont liées à l'habitat et aux activités économiques. Ces phénomènes

induisent une augmentation de la distance domicile-travail, une diminution des déplacements périphérie-centre et une augmentation des déplacements périphérie-périphérie (Lambotte, 2018).

Plusieurs études ont été réalisées en Belgique et en Wallonie sur les bassins d'emploi avec des données et méthodologies différentes. Les résultats varient donc en fonction des études mais quelques similitudes peuvent être trouvées. Dans ce mémoire, trois méthodes sont abordées principalement : la méthode dite de la simple navette, la méthode ANABEL qui intègre une classification hiérarchique ascendante et la méthode de détection de communautés.

2.2.1 Monographies du recensement : méthode de la première navette

Les monographies du recensement de 2001 ont délimité des bassins d'emploi en utilisant deux méthodes différentes (Marissal et al., 2006). Avant de distinguer ces méthodes de délimitation de bassins d'emploi à partir de l'échelle communale en Belgique, il est nécessaire de définir les centres d'emploi. Un centre d'emploi est considéré à l'échelle communale selon trois critères :

- Concentration de 1,25 fois plus d'emplois que de travailleurs résidents.
- Volume d'emplois supérieur à 15 000.
- Seuil minimum fixé à 600 emplois à l'hectare.

La première méthode utilise le critère de la première navette : chaque commune est attribuée au centre d'emploi vers lequel elle a le plus de navetteurs (Marissal et al., 2006). Celle-ci a été réalisée avec les données du recensement de 1991 et de 2001, ce qui permet de montrer une évolution (figures 3 et 4). Sur ces figures, les communes grises sont des centres d'emploi, les communes colorées forment les bassins d'emploi et les communes blanches ont leur première navette vers l'étranger. Trois points importants peuvent être soulignés :

1. Les deux résultats montrent une grande influence de Bruxelles sur les deux autres régions. Cependant, entre 1991 et 2001, la capitale perd de l'influence par rapport à Leuven alors qu'elle maintient son influence en Wallonie.
2. En Flandre, les villes d'Antwerpen et de Gent ont une grande zone d'influence. La Flandre occidentale a un réseau urbain dense de villes de taille moyenne et est caractérisée par une multiplicité de centres. Le Limbourg, province historiquement peu urbanisée, connaît essentiellement un gros bassin dont le centre est Genk-Hasselt.
3. Dans le sud de la Wallonie, de nombreuses communes se voient être rattachées à un centre étranger, qui est le Grand-Duché de Luxembourg.

La seconde méthode utilise le critère de la part des actifs : une commune est attribuée à un centre uniquement lorsque plus de 10% du total des actifs résidents travaillent dans ce centre. Pour cette seconde méthode, seuls les douze plus grands centres d'emplois dépassant 30000 emplois sont retenus. La différence entre les deux approches est que la première peut prendre en compte un nombre faible d'actifs alors que la seconde permet de montrer la réelle influence du centre sur son bassin (Marissal et al., 2006).

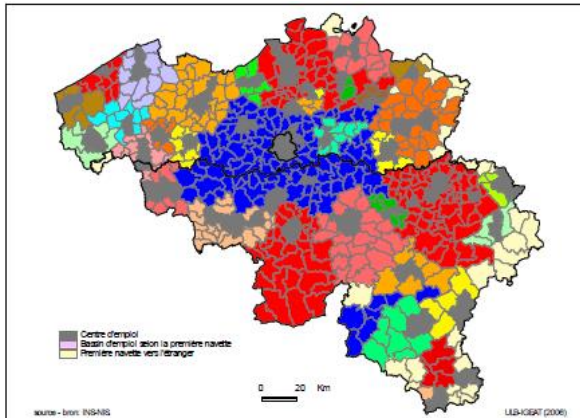


Figure 3: Bassins d'emploi de 1991 selon la première navette (Marissal et al., 2006)

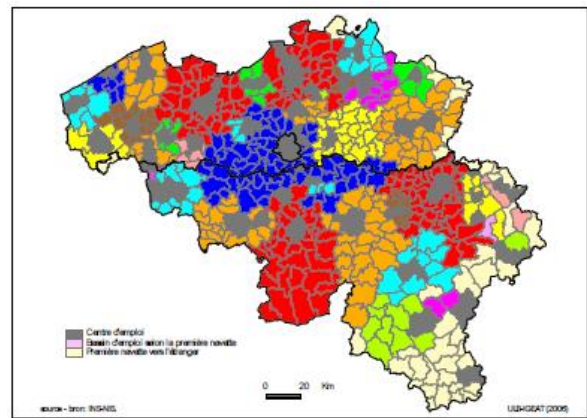


Figure 4: Bassins d'emploi de 2001 selon la première navette (Marissal et al., 2006)

Cette seconde méthode a pour avantage de mettre en évidence les zones qui sont mal polarisées. Les résultats (figure 5) montrent plusieurs zones en réalité mal polarisées comme le Hageland entre Louvain et Hasselt, le sud des cantons germanophones, les communes frontalières autour de la botte de Givet et le sud de la Wallonie (Marissal et al., 2006). De manière générale, pour les centres retenus, les résultats des deux méthodes révèlent des bassins d'emploi similaires.

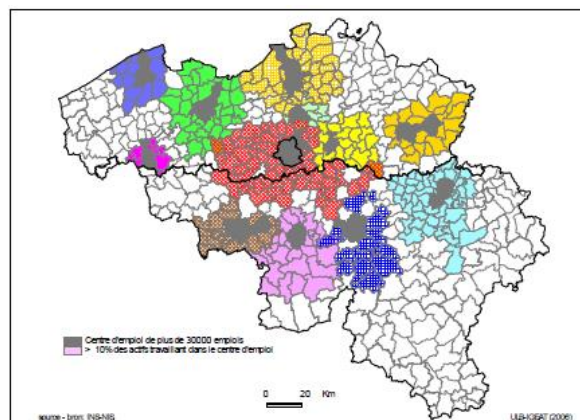


Figure 5 : Bassins d'emplois de 2001 selon le critère de 10% des actifs (Marissal et al., 2006)

2.2.2 Classification hiérarchique ascendante : ANABEL

Cette méthode de délimitation en bassins d'emploi a été développée par l'INSEE et porte le nom de MIRABEL (Méthode Informatisée de Recherche et d'Analyse de Bassins par l'Etude de Liaisons) ou ANABEL (ANALYse Bilocalisée pour les Etudes Locales). Elle s'apparente à une via une classification hiérarchique ascendante mais des liens entre entités sont considérés à la place de la distance entre celles-ci (Adam et al., 2018 (1)). Cette méthode ne prend pas en compte les déplacements intra-communaux et résume les informations de la matrice Origine-Destination sous la forme d'un arbre. La base de l'arbre reprend les 589 communes belges (ou les 262 communes wallonnes) et celles-ci sont progressivement regroupées jusqu'à arriver au sommet unique de l'arbre. Le géographe doit décider à quel moment arrêter l'agrégation afin

d'obtenir le nombre de partitions voulues. Les communes sont agrégées si elles ont un lien fort (De Wasseige et al., 2000). Ce lien est calculé de la manière suivante :

$$Lien(A,B) = \frac{Flux(A,B)}{PopAct(A)}$$

Où Flux (A, B) est le flux de travailleurs de A vers B et où PopAct(A) est la population active de A.

Ce lien porte le nom de dépendance relative de A vis-à-vis de B en matière d'emploi. La commune qui possède le plus haut taux de dépendance par rapport à une autre est regroupée avec celle-ci. Les liens sont alors recalculés et l'agrégation continue jusqu'à ce qu'il ne reste qu'un seul groupe. L'agrégation successive de communes permet aux limites communales de ne pas être figées car elles évoluent au fur à mesure que l'agrégation se produit. En effet, une fois deux communes fusionnées, celles-ci n'existent plus mais sont représentées par cette nouvelle entité. Le biais lié à la délimitation figée des communes est donc atténué (De Wasseige et al., 2000). Cependant, la méthode a un point négatif majeur : l'effet rebond. En effet, lorsque deux communes A et B sont regroupées, une commune C voisine de A et B aura un fort lien de dépendance vis-à-vis de ce groupe A + B et ce, même si les liens entre A et C ou entre B et C sont relativement faibles (Lambotte et al., 2011).

Cette méthode a plusieurs fois été appliquée par l'IWEPS pour délimiter les bassins d'emploi en Wallonie sur base des déplacements domicile-travail issus du recensement 1991. Les résultats de ces études ne seront pas discutés ici car ils ne portent pas sur l'ensemble de la Belgique. Comme expliqué au point précédent, la CPDT a également mené des études sur les bassins d'emploi en Belgique en se basant sur la méthode MIRABEL. Ces études utilisent le terme « aire d'influence des pôles d'emploi » au lieu du terme bassin d'emploi dans le but de laisser aux politiques le choix de délimiter les bassins. Il s'agit d'une différence d'appellation mais les deux termes ont la même signification (Lambotte, 2018).

La première étude de la CPDT pour le territoire belge (Lambotte et al., 2011) est parue en 2011 et se base sur trois types de données : le recensement 1991, l'enquête socio-économique de 2001 et l'ONSS de 2008. La différence entre ces données sera abordée en profondeur dans la section *Données* du chapitre *Méthodologie*. Les résultats (figure 6) sont similaires à ceux des monographies :

- L'impact de Bruxelles sur les deux régions est similaire. Cependant, dans ce cas-ci, l'influence de la capitale sur Leuven ne diminue pas. Cela peut être dû aux différentes données utilisées.
- Il existe de petits bassins d'emploi en Flandre occidentale et le Limbourg est divisé surtout entre Hasselt et Genk. Gent et Antwerpen possèdent de grands bassins.
- En Wallonie, vu que MIRABEL ne permet pas d'avoir des communes ayant des flux vers l'étranger, plusieurs petits bassins d'emploi apparaissent dans la province du Luxembourg et dans les cantons de l'est. Pour les autres gros bassins (Liège, Charleroi et Namur), les résultats sont similaires à ceux des monographies.

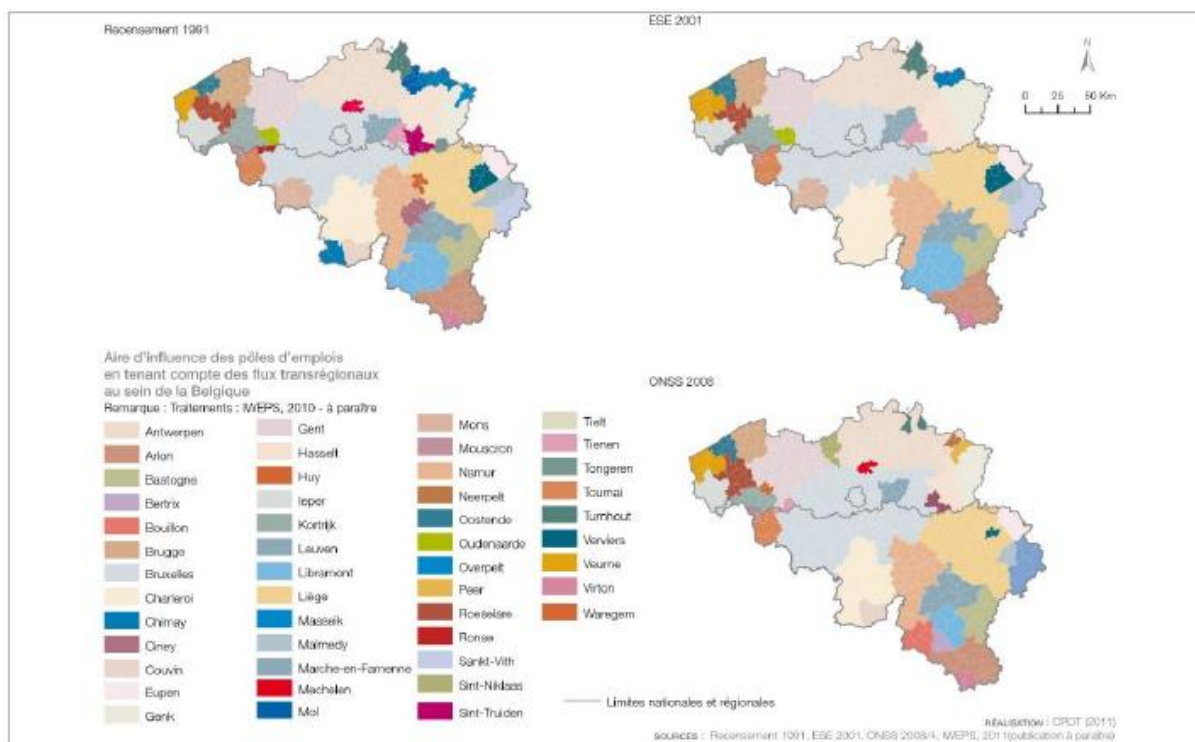


Figure 6: Evolution du découpage du territoire belge en bassins d'emploi entre 1991 et 2008 (Lambotte, 2018)

Cette même étude illustre l'impact des flux transfrontaliers en tenant compte des déplacements belgo-luxembourgeois. Pour cela, la CPDT a croisé les données de l'ONSS de 2008 avec les données luxembourgeoises de l'IGSS de 2007. Le résultat (figure 7) montre que les petits bassins du sud de la Wallonie et du sud des cantons forment en réalité un grand bassin d'emploi avec le Grand-Duché de Luxembourg. Le bassin du pays s'étend donc sur l'ensemble de la province de Luxembourg (excepté le bassin de Marche-en-Famenne) et sur le sud de l'arrondissement de Verviers.

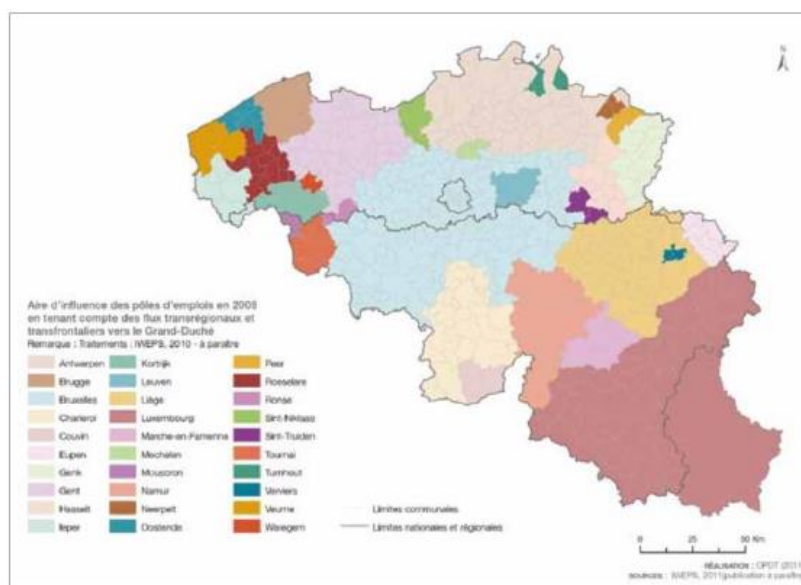


Figure 7: Découpage du territoire belge en bassins d'emploi en prenant en compte les flux luxembourgeois (Lambotte, 2018)

Le seconde étude menée par la CPDT (Lambotte et al., 2016) délimite les bassins d'emploi en se basant sur les données de l'ONSS. Cinq découpages sont réalisés pour une période allant de 2004 à 2014 (figure 8). Les résultats sont très similaires à l'étude précédente :

- Une fois de plus, le bassin de Bruxelles s'étend sur un large territoire comprenant presque l'entièreté de l'ancienne province de Brabant (excepté Leuven) et des parties des provinces de Liège, de Namur, Hainaut, Flandre orientale et Antwerpen. De plus, le bassin semble s'étendre en Wallonie au détriment des grandes villes wallonnes comme Mons, Charleroi ou Namur.
- Le même constat que les deux analyses précédentes peut être dressé pour la Flandre même si certains petits bassins disparaissent avec le temps (Oudenaarde en Flandre Orientale, Tienen dans le Brabant Flamand ou encore Sint-Truiden et Pelt dans le nord du Limbourg).
- Les résultats pour la Wallonie sont également comparables à ceux des études précédentes. Il faut tout de même tenir compte du fait que les bassins qui apparaissent dans la province de Luxembourg et dans la Communauté germanophone sont dû à l'absence des flux transfrontaliers. Comme en Flandre, certains petits bassins disparaissent avec le temps (Verviers, Malmédy dans la province de Liège et Vielsalm dans la province du Luxembourg)

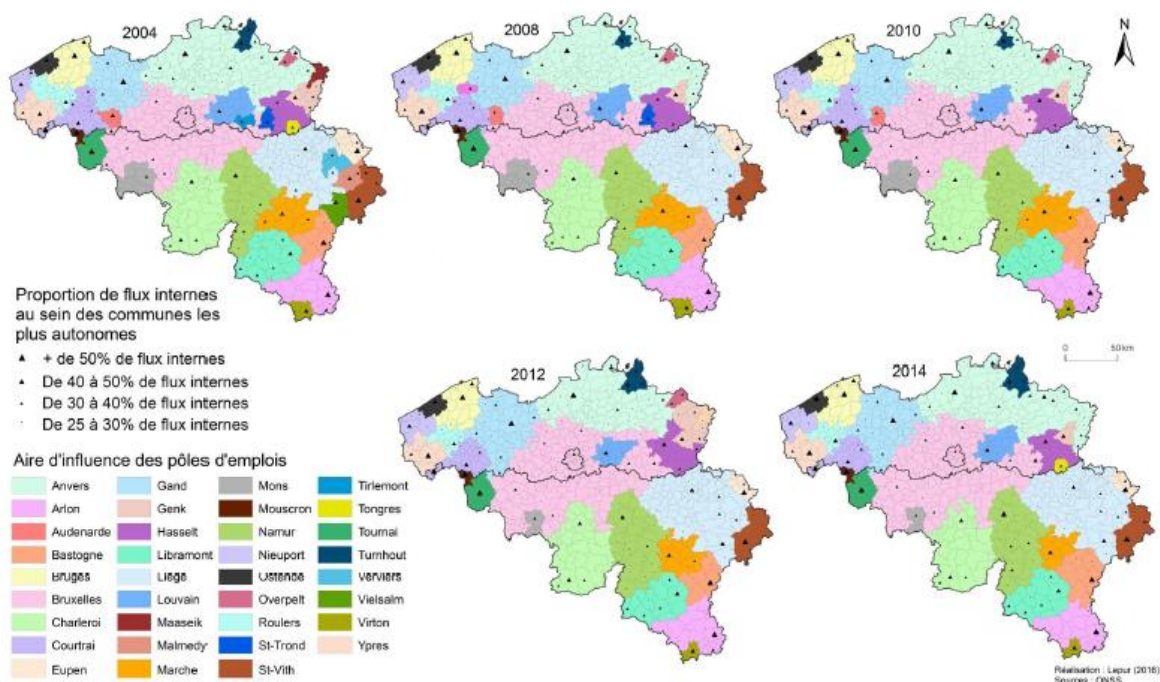


Figure 8: Evolution entre 2004 et 2014 du découpage du territoire belge en bassins d'emploi (Lambotte et al., 2016)

En résumé, les résultats des différentes études utilisant la méthode MIRABEL sur les bassins d'emploi en Belgique varient en fonction de la prise en compte de la variable des flux transfrontaliers. En effet, un vaste bassin d'emploi est observable pour le Grand-Duché de Luxembourg. De plus, il existe une tendance à la disparition des petits bassins d'emploi en

Wallonie et en Flandre au profit de bassins plus importants (grandes villes et métropoles extérieures). Les bassins de Bruxelles et de Luxembourg sont très étendus sur la Wallonie et couvrent presque 50% de son territoire. Ces bassins de grande envergure peuvent être la conséquence de l'effet rebond (Lambotte, 2018). La majorité des communes se rattachent au même bassin quelle que soit la période. Pourtant, certaines fluctuations s'observent en raison de l'instabilité des taux de dépendance dans les communes. Enfin, les découpages obtenus respectent peu les limites administratives provinciales (Lambotte, 2018).

2.2.3 Détection de communautés : méthode de Louvain

Ces dernières années, de nouvelles méthodes ont été développées avec l'émergence des *data science* et l'avènement des *big data*. Parmi celles-ci, il existe des méthodes d'analyse de graphes permettant de décomposer un réseau en plusieurs sous-ensembles appelés communautés. Une communauté mathématique est donc un sous-ensemble de nœuds qui appartiennent à un graphe et qui sont fortement interconnectés (Blondel, 2008). La connexion entre chaque nœud est mesurée par des arêtes pondérées pouvant être des flux. La méthode de Louvain fait partie de ces méthodes. Elle a été développée en 2008 et elle vise donc à détecter des communautés dans un graphe (figure 9). Pour ce faire, elle vise à maximiser la densité des liens intra-groupes par rapport à la densité de liens intergroupes. Ce rapport est appelé la modularité et est une quantification de la qualité du partitionnement (Newman et Girvan, 2004). L'optimisation de la modularité se produit en deux étapes (figure 9). La première étape consiste à grouper des nœuds ayant une forte relation entre eux, cela mène à une augmentation de la modularité. La deuxième vise à fusionner les nœuds de chaque communauté en un nœud unique. Les deux étapes sont appliquées successivement jusque qu'à ce qu'un maximum soit atteint (Blondel et al., 2008). Le fonctionnement de cette méthode sera abordé plus en profondeur dans le chapitre méthodologie.

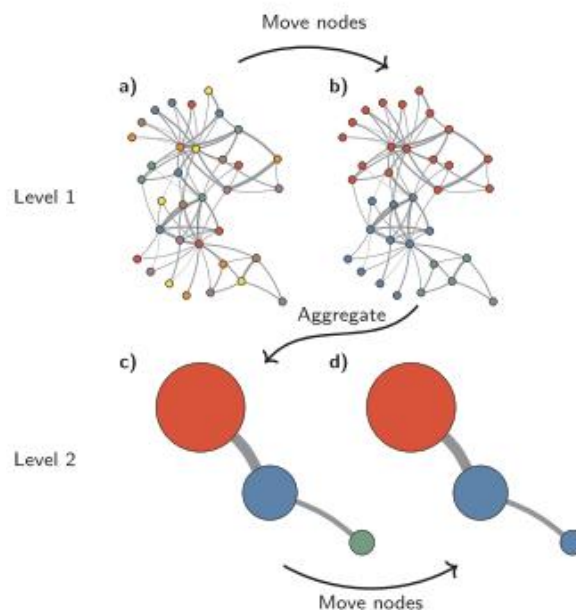


Figure 9: Etapes de la méthode de Louvain. Les nœuds sont chacun assignés à une communauté (b) et ils sont ensuite fusionnés (c). La taille des cercles représente la taille de la communauté en termes de flux échangés (Traag et al., 2019).

L'avantage de cette méthode est qu'elle est rapide et que le nombre de communautés est détecté par le programme lui-même de manière endogène. Le résultat n'est donc pas supervisé (Blondel et al., 2008). Cette méthode comporte également des désavantages :

- Premièrement, la méthode de Louvain possède une limite de résolution. En effet, il se peut qu'une petite communauté soit intégrée à une plus grande même si elles n'ont qu'un seul lien entre elles (Fortunato et Barthélémy, 2007). Cela a pour conséquence de lier ensemble des communautés mal connectées, voire pas connectées du tout (Traag et al., 2019). De plus, le nombre de communautés optimal est choisi intrinsèquement et il n'est pas possible de le changer. C'est pourquoi, afin de pouvoir choisir le nombre de communautés et de pallier ce problème de résolution, un paramètre ρ a été introduit (Delvenne et al., 2013). Ce paramètre peut prendre n'importe quelle valeur. Lorsque celle-ci est égale à 1, la partition obtenue correspond à celle de la méthode de Louvain sans paramètre (figure 10). Il a été trouvé que la valeur de ρ est optimale lorsque la variation de l'information (VI) est minimale. Il s'agit d'un indicateur qui mesure la similarité entre chaque partition.
- Deuxièmement, la méthode est aussi sensible à l'ordre dans lequel les nœuds sont utilisés par l'algorithme (Blondel et al., 2008). Pour pallier ce problème, il convient de faire tourner de nombreuses fois la méthode avec, à chaque fois, un tri aléatoire de l'ordre des nœuds. Les exemples dans la littérature effectuent 1000 tris aléatoires.

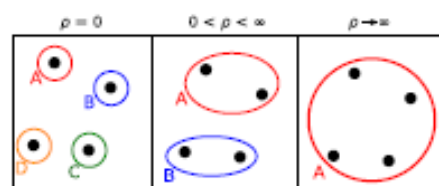


Figure 10: Influence du paramètre ρ sur la partition (Adam et al., 2018 (2))

Une des premières implémentations de la méthode de Louvain a été de délimiter des bassins téléphones en Belgique grâce aux flux de communications mobiles (Blondel et al., 2010). Plus récemment, elle a été appliquée afin de délimiter des bassins d'emploi en Belgique, et notamment à Bruxelles, grâce aux flux domicile-travail (Thomas et al., 2017 ; Adam et al., 2017 ; Adam et al., 2018 (1) ; Adam et al., 2018 (2) ; Verhetsel et al., 2018). En effet, un graphe peut être construit en considérant les communes comme des nœuds et en considérant les déplacements entre un nœud domicile et un nœud travail comme des arêtes.

La première application de la méthode de Louvain sur des flux domicile-travail en Belgique a été réalisée avec les données du recensement de 2011 par Thomas et al., 2017. Cette étude a discuté plusieurs aspects de l'utilisation de la méthode de Louvain :

- Pour pallier le problème de dépendance à l'ordre d'entrée des nœuds, 1000 tests avec un tri aléatoire des nœuds ont été réalisés, et ce pour plusieurs valeurs de ρ .
- La valeur optimale de ρ a été trouvée grâce à la variation de l'information et grâce à la proportion des nœuds internes et des nœuds externes des communautés.

- Le problème d'agrégation des données a été abordé en comparant les résultats de la méthode sur les secteurs statistiques et sur les communes (figure 11).
- La stabilité des résultats de la méthode a été testée et il apparaît que certaines communes ne sont pas toujours attribuées à la même communauté dans les 1000 tests (figure 12).

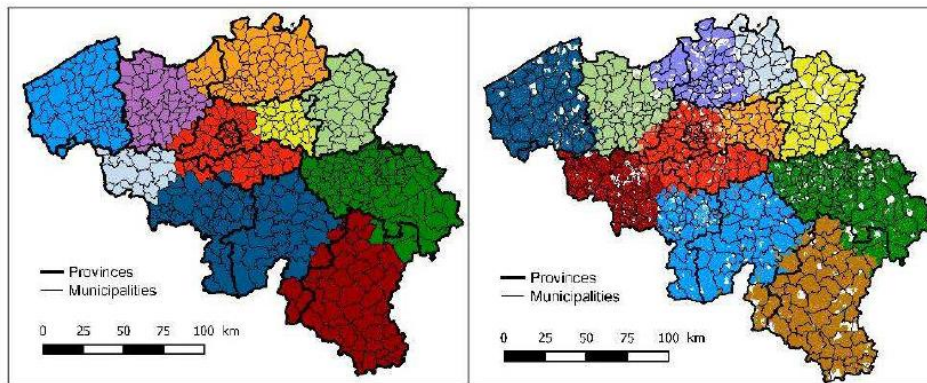


Figure 11: Détection des communautés de navettes pour la Belgique en 2011 (à gauche sur base des communes et à droite sur base des secteurs statistiques) (Thomas et al., 2017).

Les résultats montrent que les communautés sont formées de communes contiguës, conformément à la loi de l'interaction spatiale et à la loi de Tobler (1970) : les interactions entre des lieux proches sont plus intenses qu'entre des lieux éloignés. Cela s'observe dans les résultats alors que les données utilisées ne sont pas des données spatiales. La communauté de la Région de Bruxelles-Capitale s'étend sur les deux autres régions et, plus précisément, sur les provinces de Brabant (Adam et al., 2017). De plus, la frontière linguistique et les frontières provinciales sont bien suivies par les communautés (hormis à Bruxelles), ce qui est étonnant sachant que les provinces sont un vestige de l'époque napoléonienne. Cette méthode a certaines limites. En effet, elle ne prend pas en compte l'influence des pays frontaliers pouvant posséder des centres d'emploi à proximité de la Belgique. De plus, chaque commune est obligatoirement attribuée à une communauté sans tenir compte des différences d'intensité du lien entre la commune et la communauté. Ce phénomène tend donc à diminuer la stabilité de la partition (Thomas et al., 2017).

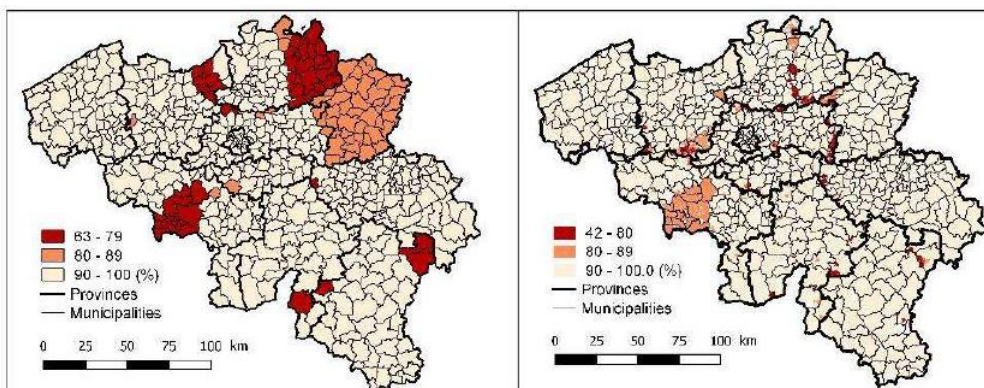


Figure 12: Stabilité de la détection de communautés des navettes pour la Belgique en 2011 (à gauche sur base des communes et à droite sur base des secteurs statistiques) (Thomas et al., 2017).

A partir des mêmes données, une seconde étude a également comparé les résultats issus des déplacements domicile-travail en incluant ou en excluant les flux intra-communaux (Adam et al., 2018 (2)). Avec la valeur de ρ par défaut, des résultats différents sont observés. Cependant, il a été montré que, pour obtenir un même nombre de communautés, il suffisait de faire varier le paramètre ρ (figure 13). Les résultats ainsi obtenus sont similaires mais pas égaux (Adam et al., 2018 (2)).

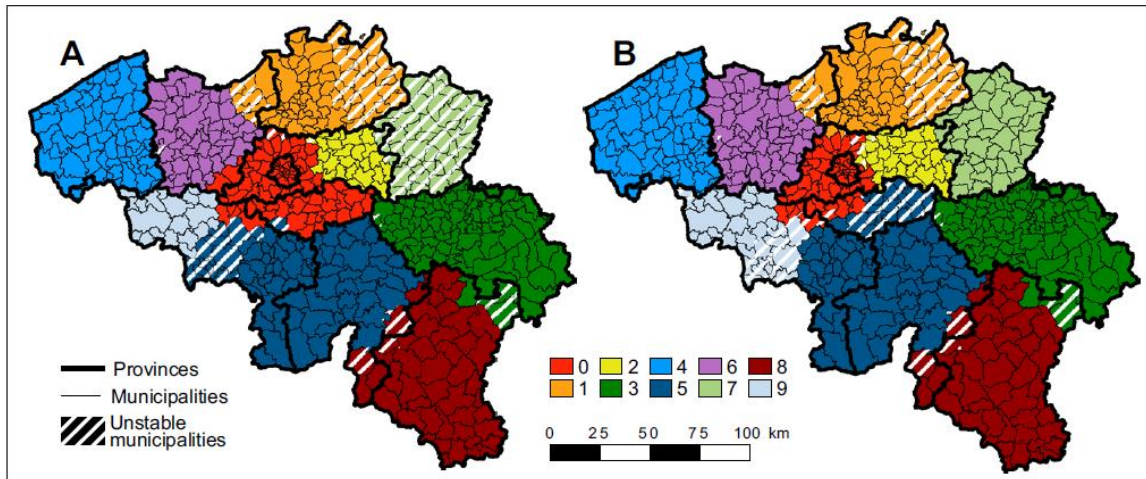


Figure 13: Détection de communautés des navettes (A) avec et (B) sans self-loops (Adam et al., 2018 (2))

Enfin, à partir des données issues de la sécurité sociale, une dernière étude via la méthode de Louvain a été réalisée afin de montrer l'influence du genre et de la classe sociale sur les bassins d'emploi (Verhetsel et al., 2018). Les résultats indiquent que les communautés obtenues pour les femmes et pour les classes de bas revenus sont plus nombreuses et plus petites que celles des hommes et des classes de hauts revenus. Ces résultats corroborent avec les résultats des études sur les déplacements domicile-travail citées précédemment. En effet, les femmes se déplacent moins que les hommes et les personnes plus qualifiées se déplacent plus.

2.2.4 Comparaison des méthodes

Trois méthodes différentes ont déjà été appliquées pour délimiter des bassins d'emploi : la méthode dite de la première navette, la méthode statistique appelée MIRABEL et la méthode de détection de communautés issues des *data science* aussi appelée méthode de Louvain.

Chacune a ses avantages et inconvénients qui peuvent être rappelés de la sorte :

- La méthode de la première navette est très simple mais il faut définir à priori des centres et ne prend en compte que le flux maximum entre une commune et un centre.
- MIRABEL (ou ANABEL) utilise une méthode statistique plus complexe et agrège une à une les communes pour former une partition du territoire. Elle connaît cependant un effet rebond qui a été expliqué précédemment.
- La méthode de Louvain ne demande aucune définition de paramètres par l'utilisateur car elle calcule tout intrinsèquement. Cependant, en réalité, plusieurs tests doivent être réalisés et il faut faire varier un paramètre ρ afin d'avoir une division optimale.

Les résultats varient en fonction de la méthode employée (Lambotte, 2018). De plus, les études présentées utilisent des données récoltées à des moments différents. Toutefois, pour chaque résultat, Bruxelles a une influence sur les deux autres régions et principalement sur les provinces du Brabant wallon et du Brabant flamand. De plus, même si la plupart des travaux négligent les flux transfrontaliers, les pays voisins impactent fortement les navettes pour les communes situées près de la frontière. Dans les études précédentes, les bassins délimités par la méthode de Louvain sont moins nombreux et plus grands que ceux délimités par la méthode de la première navette ou MIRABEL. De plus, il semble que la méthode MIRABEL (ou ANABEL) est plus apte à mettre en évidence des territoires polarisés et est donc idéale pour la constitution d'entités administratives supra-communales (Adam et al., 2018 (1)). En comparaison, la méthode de Louvain permet de faire apparaître plusieurs communautés de tailles relativement similaires en matière de flux échangés. Elle ne fait donc pas intervenir l'aspect spatial et permet de faire un découpage du territoire de type « régionalisation » (Adam et al., 2018 (1)). En effet, une région est une structure caractérisée par les propriétés de ses entités et des relations entre ces dernières (Dumolard, 1975). En géographie économique, une méthode classique pour évaluer le processus de régionalisation est donc de regrouper des entités en fonction de l'intensité de leurs relations (Richard, 2014). Dans le cas de la méthode de Louvain, les entités sont regroupées sur base de leurs flux domicile-travail.

En résumé, le partitionnement de l'espace demande une connaissance précise de la méthodologie et des données utilisées. Chaque méthode des objectifs différents et permet de poser un regard différent sur la réalité géographique. Le travail du géographe est ainsi de connaître les différences de chacune des méthodes et d'utiliser celle qui convient le mieux pour atteindre l'objectif qu'il s'est fixé.

CHAPITRE 3. Méthodologie

3.1 Objectif général et organigramme

Il n’y a pas de consensus sur la manière de délimiter un territoire en bassins d’emploi, si ce n’est l’utilisation des données relatives aux déplacements domicile-travail. Dès lors, plusieurs méthodes inspirées par la littérature scientifique seront testées ici (figure 14). Deux méthodes de détection de communautés issues des *data science* et une méthode de la première navette seront appliquées. Les résultats de chacune de ces méthodes seront ensuite comparés. Chaque méthode sera réalisée avec les données de 2001 et de 2011, ce qui permettra de déterminer comment ont évolué les bassins d’emploi en Belgique sur un laps de temps d’une dizaine d’années.

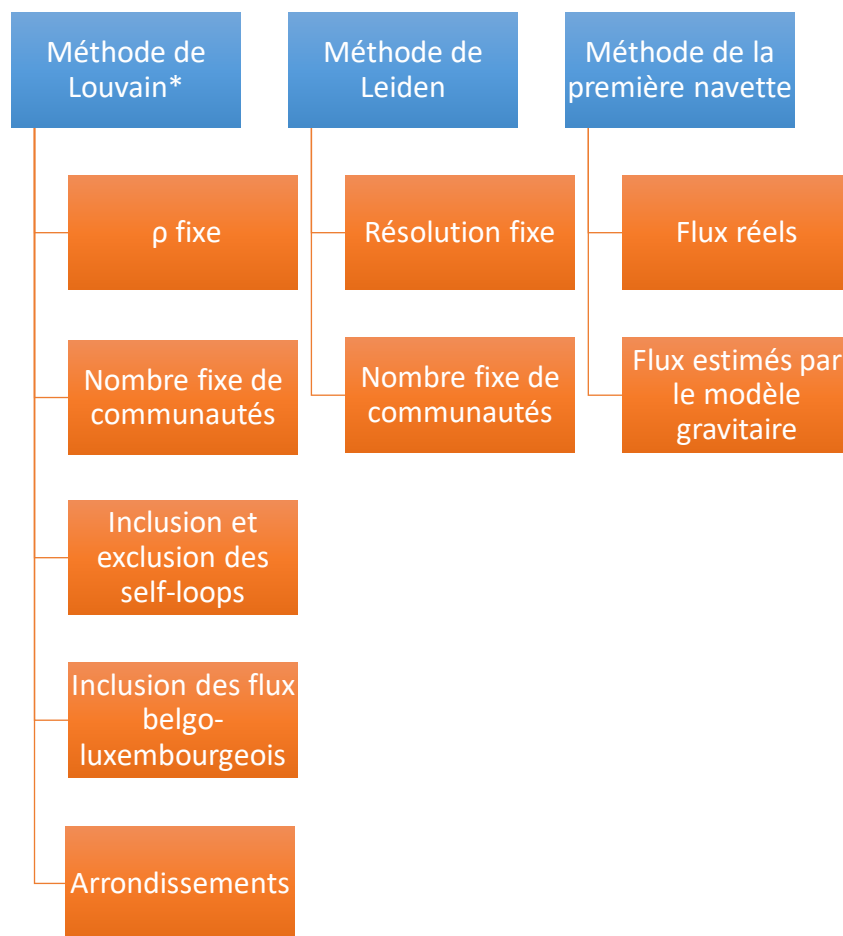


Figure 14: Analyses menées afin de délimiter des bassins d’emploi

Pour les méthodes de détection de communautés, une première application sera réalisée avec une résolution fixe. Ceci a pour but de voir si des différences entre les partitions de 2001 et 2011 s’observent au niveau du nombre de communautés et au niveau de leur extension. Ensuite, la résolution sera adaptée pour atteindre un nombre égal de communautés entre 2001 et 2011. Cela permettra d’observer uniquement les différences dans l’extension des communautés.

De manière analogue et uniquement pour la première méthode de détection de communautés, une analyse sera menée sur les arrondissements pour ces trois dates : 1991, 2001 et 2011. Le but de cette analyse est double : obtenir une période supplémentaire de comparaison grâce aux données de 1991 et discuter l'impact de l'agrégation spatiale sur les partitions. Cela a été déjà discuté sur la comparaison entre l'échelle communale et l'échelle des secteurs statistiques (Thomas et al., 2017). Cependant, ici la comparaison se fera entre l'échelle des communes et celle des arrondissements. La pertinence de l'analyse à un tel niveau d'agrégation que sont les arrondissements sera également discutée.

Quelques tests de sensibilité seront réalisés : inclusion ou exclusion des déplacements intra-communaux (ou self-loops) et inclusion des flux belgo-luxembourgeois. La sensibilité au paramètre ρ ne sera pas étudiée ici car elle a déjà été analysée en profondeur par Thomas et al., 2017 et Adam et al., 2018.

Les résultats seront analysés et comparés grâce à deux moyens différents :

- Une comparaison cartographique visuelle
- La ressemblance entre deux partitions sera quantifiée grâce à l'information mutuelle normalisée (NMI) telle que définie par Strehl et Ghosh en 2002 :

$$NMI(u, v) = \frac{2 * I(u, v)}{H(u) * H(v)}$$

Où u et v sont des partitions, $H(u)$ et $H(v)$ sont l'entropie de Shannon des partitions, $I(u, v)$ est égal à $H(u) + H(v) - H(u, v)$ et où $H(u, v)$ représente l'entropie de Shannon jointe des deux partitions u et v . Le NMI varie entre 0 et 1 et plus il est proche de 1, plus les deux partitions se ressemblent.

La qualité des partitions obtenues au moyen des trois méthodes sera également décrite grâce à un indicateur de compacité (Adam et al., 2018). Il mesure la connexion entre une communauté et les autres communautés. Cet indicateur permet donc de calculer quels bassins ont le plus d'échanges avec les autres bassins. Concrètement, l'indicateur, appelé c (pour compactness ou compacité), mesure le rapport entre la somme des liens internes d'une communauté (ou d'un bassin dans le cas de la méthode de la première navette) et la somme de la totalité des liens connectés à cette communauté. La moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation (CV) des compacités seront déterminés pour également faire la comparaison entre les qualités des partitions respectives.

La méthode de la première navette sera appliquée avec deux données de flux différentes : les flux réels et les flux estimés par un modèle gravitaire. Cela permettra d'observer s'il existe des différences en termes de bassins d'emploi entre les deux résultats.

3.2 Données

3.2.1 Déplacements domicile-travail en Belgique

Les données reprenant les déplacements domicile-travail utilisés dans le cadre de ce mémoire proviennent de Statbel, l'office belge de statistique. Les données prennent la forme d'une

matrice origine-destination carrée où chaque ligne et chaque colonne correspond à une unité de l'espace géographique considéré. Deux échelles sont retenues ici : les communes, au nombre de 589, et les arrondissements, au nombre de 44. Dans le but d'étudier l'évolution des bassins d'emploi lors de ces dernières décennies, deux temporalités différentes sont analysées (2001 et 2011) pour les communes et trois temporalités (1991, 2001 et 2011) pour les arrondissements.

Cependant, il est important de noter que ces données, issues de temporalités différentes, n'ont pas été récoltées de la même manière. A partir de 1846, l'état belge a commencé à effectuer un recensement de la population sur un intervalle de plus ou moins 10 ans à des fins non seulement administratives mais aussi sociales, socio-économiques ou encore démographiques (Census2011, 2014). Jusqu'en 1991, le recensement belge était effectué par des agents recenseurs et a connu peu de modifications, si ce n'est une amélioration du dépouillement grâce aux progrès informatiques (Census2011, 2014). Cependant, cette année-là, la méthode de collecte, qui était reconnue comme un exemple à suivre, a légèrement été modifiée avec la création, en 1985, du Registre national des personnes physiques (RNPP). Les bulletins de recensement ont été envoyés sur base du RNPP et le recensement a alors perdu son aspect administratif (Thomas et al., 2009 ; Census2011, 2014).

En 2001, le rôle administratif ayant disparu, l'appellation du recensement fut changée en « Enquête Socio-économique Générale 2001 ». Malgré le changement de nom, le taux de réponse à cette enquête était élevé et même supérieur au recensement de 1991 (96,9%) (Thomas et al., 2009). Cependant, les données récoltées liées au lieu de travail ont quant à elles connu un taux inférieur de réponses en 2001 (5,4% de non-réponse en 1991 pour 14,8% en 2001) (Verhetsel et al., 2009). Malgré tout, les comparaisons entre les données issues de ces deux temporalités restent pertinentes à condition de partir de chiffres relatifs et non absolus.

Le changement a eu lieu en 2011. En effet, aucune enquête exhaustive n'a été réalisée et les données ont été obtenues en mettant en relation plusieurs bases de données administratives. Ce changement a été réalisé sur base de plusieurs arguments : réduction des coûts et de la charge pour le citoyen, moins de papier consommé, non-respect de la vie privée, taux élevé de non-réponses et délais de sortie des données. La pertinence de cet arrêt de recensement et les arguments en sa faveur ont été discutés et il ressort que cet abandon est une perte pour les chercheurs (Thomas et al., 2009). En effet, le recensement était un excellent outil pour analyser les évolutions de notre société. Aucune enquête ne peut remplacer la fiabilité et la précision des données issues des recensements (Thomas et al., 2009 ; Ermans et al., 2017).

En ce qui concerne les déplacements domicile-travail, les recensements de 1991 et 2001 fournissaient pour chaque individu son lieu de travail, son lieu de résidence, la longueur de la navette et les modes de transport utilisés. Le recensement administratif de 2011 ne mentionne que le lieu de domicile de chaque citoyen via le Registre National et le lieu de travail via la Banque Carrefour de la Sécurité Sociale (BCSS). La BCSS a l'avantage de regrouper

des données issues de diverses institutions comme l'INAMI, l'INASTI, l'ONEM, l'ONP et l'ONSS (Census2011, 2015). Si l'ONSS représente une source fiable pour le lieu de travail des travailleurs salariés, il est beaucoup plus difficile de connaître celui des indépendants car l'INASTI ne reprend pas le lieu de travail. Il faut alors utiliser les données de la BCE qui ne permettent d'obtenir le lieu de travail que des indépendants titulaires d'une entreprise. Pour quelques dizaines de milliers de cas sur plus de 4 millions d'actifs, il n'a pas été possible de déterminer le lieu de travail. Ces travailleurs ne sont donc pas retranscrits dans les données (Census2011, 2015). Par conséquent, même si les salariés représentent près de 85% de l'emploi total (Lambotte et al., 2016), l'incertitude liée aux indépendants ne peut pas être négligée car le croisement des diverses bases de données donne des flux incomplets (Ermans et al., 2017). Il est alors très difficile de procéder à des comparaisons avec les recensements précédents (Census2011, 2015). L'accès aux données de flux domicile-travail est donc devenu problématique et leur obtention représente un réel défi méthodologique, pour des résultats lacunaires (Lambotte et al., 2016 ; Ermans et al., 2017).

Malgré cela, ce mémoire ne vise pas à comparer des données de manière absolue mais plutôt de manière relative car les déplacements domicile-travail de chaque commune sont comparés afin d'effectuer un regroupement de communes en bassin d'emploi. Or si la perte de données liée au recensement administratif est répartie de manière proportionnelle sur le territoire, cette perte n'aura que peu d'impact sur les résultats. Ce mémoire pose cette hypothèse afin de comparer les résultats obtenus avec les données issues du recensement de 1991 ou 2001 et avec ceux obtenus avec les données issues du recensement administratif de 2011.

3.2.2 Déplacements domicile-travail luxembourgeois

Afin d'évaluer un potentiel impact des pays voisins sur les bassins d'emploi belges, des données sur les déplacements domicile-travail entre le Luxembourg et la Belgique vont aussi être utilisées. Les données n'étant disponibles qu'à partir de 2009, et ce pour chaque année, seules les données de 2011 seront utilisées et intégrées à celles du census de 2011. Les données proviennent des Statistiques sur l'emploi de l'Inspection générale de la sécurité sociale (IGSS). Une première différence entre les deux sources de données est que le census est daté du 1^{er} janvier 2011 alors que celles du Luxembourg sont datées du 31 mars 2011. Ces dernières représentent uniquement les actifs exerçant une activité professionnelle au Luxembourg et affiliés au système de la sécurité sociale luxembourgeoise, selon leur commune de résidence (ADEM, 2019). Il est aussi à noter que pour des raisons de protection des données, les nombres sont arrondis à la dizaine la plus proche. De plus, ces données prennent en compte comme lieu de domicile la commune belge mais comme lieu de travail le pays de Luxembourg : les deux échelles géographiques sont donc différentes. Finalement, ces données ne prennent pas en compte les travailleurs luxembourgeois travaillant dans des communes belges. Au vu de toutes ces différences et lacunes dans les données, l'intégration des flux luxembourgeois dans ce mémoire est utilisée uniquement à des fins illustratives et aucune conclusion pertinente ne pourra être tirée de ces résultats.

3.2.3 Nombre d'actifs belges par commune

Afin d'estimer les flux par le modèle gravitaire, la population active par commune sera utilisée. La population active reprend toutes les personnes pourvues d'un emploi et les chômeurs. Cette donnée ne sera utilisée que pour 2011 et provient du census de 2011. Les défauts de cette base de données ont été expliqués en détail au point 3.2.1.

3.3 Méthode de Louvain*

Le fonctionnement de la méthode de détection de communautés de Louvain a déjà été expliquée en bref dans la revue de la littérature. Celle-ci se base sur la maximisation de la modularité pour trouver une partition optimale au sein d'un graphe. Cependant, la méthode a un problème de limite de résolution : il se peut qu'une petite communauté soit intégrée à une plus grande même si elles n'ont qu'un seul lien entre elles et donc des communautés à la base mal connectées peuvent être regroupées (Fortunato et Barthélémy, 2007). Dès lors, plusieurs solutions ont été trouvées.

Pour rappel, une de ces solutions a été d'introduire un paramètre ρ dans l'équation de la modularité (Delvenne et al., 2013). Lorsque ρ est égal à 0, il y a autant de communautés que de nœuds et lorsque ρ tend vers l'infini, il n'y a plus qu'une seule communauté reprenant tous les nœuds. Lorsque ρ est égal à 1, la répartition obtenue est celle de la méthode de Louvain inchangée. Le nombre de communautés peut donc être choisi en faisant varier ce paramètre ρ . Cette solution a notamment été reprise dans la méthode de Leiden qui sera utilisée comme seconde méthode.

Une autre solution a été de créer un algorithme qui ne se base plus sur la maximisation de la modularité mais qui utilise la stabilité comme fonction objectif afin de trouver la meilleure partition dans le réseau de nœuds (Lambiotte et al., 2009). Cette stabilité est une fonction d'autocovariance d'une chaîne de Markov. Concrètement il s'agit d'un processus qui fonctionne comme une marche aléatoire dans le graphe. Un individu se déplace de nœud en nœud de manière aléatoire. Etant donné que chaque nouvelle itération du processus dépend du passé, l'individu apprend à parcourir le graphe de manière de plus en plus optimale selon la fonction objectif. La stabilité s'améliore alors au fur et à mesure des itérations pour finir par donner une partition optimale du graphe. Cette méthode possède un paramètre de résolution t . Comme pour le paramètre ρ , lorsque ce paramètre augmente, le nombre de communautés diminue. La méthode a donc l'avantage de pouvoir définir la qualité d'une partition à différentes échelles de temps grâce à ce paramètre, contrairement à la méthode de Louvain de base.

C'est cette seconde solution qui sera utilisée comme première méthode. Elle sera appelée méthode de Louvain* dans les chapitres suivants. Etant donné le rôle similaire du paramètre t et par souci de simplicité, ce paramètre sera également appelé ρ pour éviter de multiples appellations. De plus, comme pour la méthode de Louvain, les résultats de l'algorithme dépendent de l'ordre dans lequel les nœuds sont considérés. Chaque analyse utilisant cette méthode sera donc appliquée 100 fois avec un ordre des nœuds trié aléatoirement. La

méthodologie appliquée afin d'extraire la structure dominante de ces 100 tests a été expliquée en détail par Adam et al., 2018 (2).

L'analyse de sensibilité aux boucles (ou self-loops) se fera simplement en retirant ou en laissant les personnes qui résident et qui travaillent dans la même commune (ce qui correspond à la diagonale de la matrice des déplacements Origine-Destination). Il a été montré que pour obtenir un même nombre de communautés, il suffisait de faire varier le paramètre ρ de la méthode de Louvain (Adam et al., 2018). La comparaison va de nouveau être effectuée ici mais pour la méthode d'optimisation de la stabilité du graphe (Louvain*). Si les résultats sont similaires à ceux observés pour la méthode de Louvain, alors l'ajout ou retrait de ces boucles devrait faire légèrement varier les résultats avec le même nombre de communautés. Cette hypothèse sera testée uniquement pour le niveau communal en 2011. Il est à noter que les deux méthodes de détection de communauté seront réalisées en incluant les déplacements domicile-travail intra-communales pour ne pas perdre d'information.

Une limite des données utilisées est la non-disponibilité des flux transfrontaliers. Or ceux-ci ont un gros impact sur la délimitation des bassins d'emploi (Lambotte et al., 2016 ; Lambotte, 2018). Dès lors, prendre en compte certains flux permet de visualiser l'impact que ceux-ci peuvent avoir sur les résultats d'une méthode de détection de communautés. L'inclusion des flux avec le Grand-Duché de Luxembourg est donc uniquement faite au niveau communal pour l'année 2011. Pour ce faire, une nouvelle ligne et colonne est ajoutée à la matrice de déplacements domicile-travail. La nouvelle ligne est complétée par des zéros car le nombre de travailleurs luxembourgeois dans chaque commune belge est inconnu. La nouvelle colonne est quant à elle complétée avec les chiffres sur les actifs belges travaillant au Luxembourg. Il suffit alors d'utiliser la méthode de détection de communautés sur cette nouvelle matrice 590x590.

3.4 Méthode de Leiden

Pour pallier le problème majeur de la méthode de Louvain qui peut potentiellement grouper des communautés avec un faible lien, une autre méthode de détection de communautés a été développée très récemment : la méthode de Leiden. Cette dernière semble remédier au problème et rendre une meilleure partition des nœuds en communautés (Traag et al., 2019). Elle serait également plus rapide, ce qui est important pour un grand nombre de données mais ce n'est pas le premier but recherché dans une analyse sur une si petite quantité de données. Certains avantages de la méthode de Leiden ont été montrés récemment dans une étude menée sur le système de santé aux USA : l'algorithme de Leiden a de meilleures performances en ce qui concerne la modularité et l'efficacité des calculs (Wang et al., 2020).

La méthode de Leiden est une version améliorée de la méthode de Louvain. Elle ajoute notamment une étape supplémentaire à cette dernière. Après avoir groupé les nœuds ayant une forte relation, la méthode de Leiden ajoute une étape d'amélioration de la partition pour notamment corriger le défaut cité précédemment (figure 15). C'est seulement après cette étape d'amélioration que les nœuds sont agrégés (Traag et al., 2019).

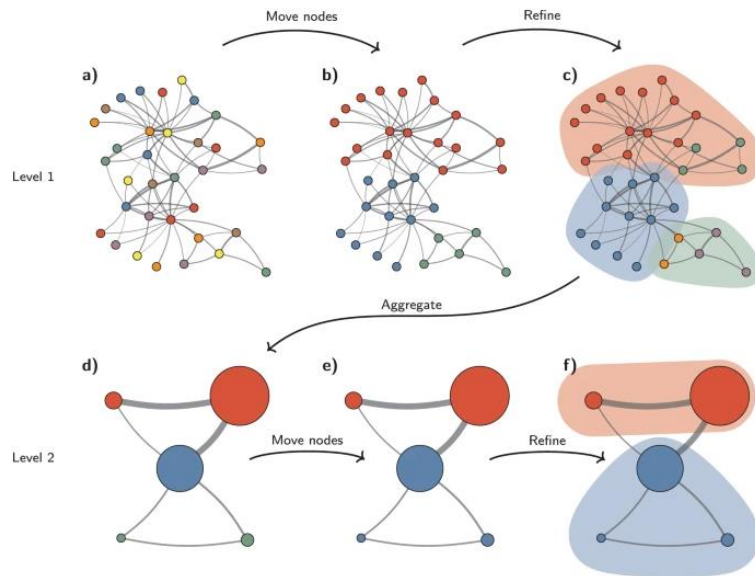


Figure 15: Méthode de Leiden sur un ensemble de nœuds. Les nœuds sont groupés en communautés (a). La répartition obtenue est ensuite améliorée (b) et le réseau est agrégé (c). Le processus se répète jusqu'à ce qu'il ne puisse plus être amélioré (Traag et al., 2019).

3.5 Méthode de la première navette

La méthode dite de la première navette est une des méthodes utilisée dans les monographies du recensement (Marissal et al., 2006). Il s'agit d'une méthode simple où un certain nombre de centres d'emploi sont définis préalablement, contrairement aux méthodes de détection de communautés. Les communes restantes sont alors rattachées à un centre en fonction de la valeur du flux domicile-travail. Les centres sont choisis grâce à la matrice des déplacements domicile-travail. Les 19 communes de Bruxelles sont agrégées car les centres sont définis sur base des villes et non des communes. Toutes les autres grandes villes de Belgique sont considérées uniquement au sein de leurs limites communales. Ensuite, les communes sont triées dans l'ordre décroissant du nombre entrant de travailleurs. La méthode du choix des centres d'emploi est plus simple que celle détaillée dans les monographies : uniquement un certain nombre de villes qui connaissent les plus hauts nombres d'entrants est choisi comme centre d'emploi. Ce nombre sera fixé en fonction du nombre de communautés défini dans les méthodes précédentes afin de rendre les résultats comparables. Finalement, chaque commune restante est allouée au centre avec lequel il a le flux de travailleurs le plus important.

3.6 Modèle gravitaire simple

Un modèle gravitaire est, par définition, un type de modélisation spatiale qui permet de déterminer l'intensité d'une relation entre unités géographiques en fonction de leur potentiel et de leur distance (Géoconfluences, 2012). De plus, il permet d'étudier facilement des structures spatiales (Burger et al., 2019).

Le modèle effectué reprend la population active de chaque commune et la distance euclidienne entre celles-ci. Pour ce modèle aussi, il faut choisir à l'avance un certain nombre

de centres d'emploi. Ce nombre sera également choisi en fonction du nombre de communautés fixés dans les méthodes précédentes afin de rendre les résultats comparables. De même, les 19 communes de Bruxelles seront agrégées en une seule entité et c'est le centroïde de celle-ci qui sera utilisé.

Le modèle développé dans ce mémoire reprend la définition classique du modèle gravitaire. La relation entre les communes est calculée en fonction de leur population respective (ici population active) et du carré de la distance euclidienne qui les sépare (Burger et al., 2019) :

$$I_{ij} = \frac{M_i M_j}{d_{ij}^2}$$

Où I_{ij} est l'intensité de la relation entre les places i et j , M_i est la population âge de travailler de la commune i , M_j est la population âge de travailler de la commune j et d_{ij}^2 est le carré de la distance euclidienne entre les centroïdes des communes i et j . Cette équation implique donc que plus la distance entre deux communes augmente, moins la relation entre celles-ci est forte. La distance est mise au carré par transposition à la loi de Newton et, plus tard, à la loi de Reilly. Ce type de modèle a souvent été utilisé dans les études de flux (Grimmeau, 1994).

Comme pour la méthode de la première navette, des centres d'emploi seront définis préalablement sur base du nombre d'actifs pour chaque entité. Ensuite, les flux I_{ij} seront estimés entre chaque commune et chaque centre. Une fois les flux estimés, la méthode de la première navette est appliquée au moyen de ceux-ci et avec les centres définis. Chaque commune est donc allouée au centre avec lequel il a le flux estimé de travailleurs le plus important.

Le but de l'utilisation du modèle gravitaire est d'illustrer si les flux estimés par le modèle permettent d'obtenir une partition du territoire similaire à celle obtenue avec les flux réels. En effet, l'accès aux données de flux domicile-travail est devenu problématique (Lambotte et al., 2016 ; Ermans et al., 2017). Dès lors, estimer ces flux au moyen de données accessibles (comme la population active par commune) peut être une solution. Cependant, cela ne peut résoudre le problème que si les résultats obtenus avec les flux estimés sont similaires à ceux obtenus avec les flux réels.

CHAPITRE 4. Résultats

Premièrement, les résultats de la première méthode de détection de communautés (Louvain*) seront analysés selon ces cinq éléments : paramètre de résolution fixe, nombre de communautés fixe, sensibilité aux self-loops, sensibilité aux flux transfrontaliers et impact de l'agrégation spatiale via la comparaison communes – arrondissements. Deuxièmement, la seconde méthode de détection de communautés (Leiden) sera appliquée et se basera sur deux points : paramètre de résolution fixe, nombre de communautés fixe. Troisièmement, les résultats de la méthode de la première navette seront discutés. Quatrièmement, la méthode de la première navette sera appliquée sur les flux estimés par le modèle gravitaire. Les deux résultats de cette méthode seront comparés. Finalement, une synthèse des résultats sera effectuée en trois points : méthodologie, réalité géographique belge et différence 2001-2011.

4.1 Méthode de Louvain*

4.1.1 Résolution ρ fixe

La méthode de Louvain* indique très peu de différences entre 2001 et 2011 (figures 16 et 17). Il y a une communauté supplémentaire en 2011 qui comprend uniquement la commune de Beloeil. Cela est dû au fait que celle-ci n'a été répertoriée qu'à 33,3% dans cette communauté. Cette communauté d'une seule commune est une illustration du manque de stabilité de la méthode sur les 100 tests effectués. Cette instabilité est notamment montrée au moyen des zones hachurées en blanc qui reprennent toutes les communes ayant été placées dans une même communauté pour moins de 90 tests sur 100. Comparativement aux résultats obtenus dans les études précédentes avec la méthode de Louvain (Thomas et al., 2017), le nombre de communes hachurées est significativement plus élevé avec la méthode utilisée ici. Cela peut être dû à la méthode, légèrement différente de celle de Louvain ou au nombre différent de tests réalisés.

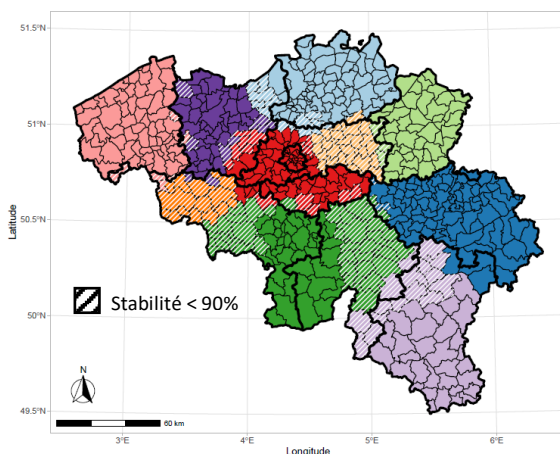


Figure 16: Communautés obtenues (10) avec la méthode de Louvain* (ρ fixe=1) en 2001

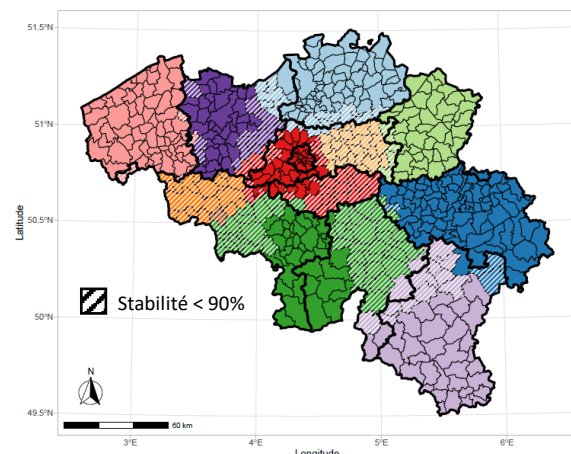


Figure 17: Communautés obtenues (11) avec la méthode de Louvain* (ρ fixe=1) en 2011

La ressemblance entre les deux résultats, calculée grâce à l'information mutuelle normalisée (NMI) est de 0,96. Cela prouve à quel point les deux partitions sont semblables. Au niveau de

la structure obtenue, la communauté de Bruxelles est la seule à occuper de manière conséquente les deux autres régions. En 2001, quelques communes wallonnes sont liées à des communautés flamandes (Ellezelles, Mont-de-l'Enclus et Mouscron). Ces trois communes sont limitrophes à la région flamande et peuvent avoir été rattachées à des communautés flamandes avec le nombre croissant de flamands qui décident d'habiter de l'autre côté de la frontière linguistique, où les prix fonciers sont moins élevés. Cependant, cette observation ne se retrouve pas en 2011 et donc l'appropriation de ces trois communes peut aussi être due à l'instabilité de la méthode sur plusieurs tests. Globalement, la partition suit bien la frontière linguistique (sauf Bruxelles et les trois communes citées précédemment) et la limite des provinces si ce n'est la communauté d'Antwerpen qui déborde à l'ouest de l'Escaut, la communauté de Liège qui empiète sur le nord de la province de Luxembourg et la communauté de Mons-Charleroi-Namur qui est à cheval entre le Hainaut et la province de Namur. Une carte des différences entre ces deux résultats peut être observée en annexe (figure 33).

Entre les deux années, les zones hachurées restent similaires et correspondent à l'ouest du Hainaut (Mouscron, Tournai et Mons), les communes autour de la communauté de Bruxelles, l'est de la province de Namur ainsi que le nord de la province de Luxembourg et finalement la communauté de Leuven. Toutes ces zones d'instabilité indiquent que ces communes ne se sont pas toujours retrouvées dans la communauté résultante. En 2001, la moyenne de la stabilité pour l'ensemble de la partition est de 91,30 % (avec 146 communes hachurées) et, en 2011, celle-ci est de 89,05 % (avec 181 communes hachurées). Cette différence est légère entre les deux années mais la partition de 2011 est plus instable que celle de 2001.

4.1.2 Nombre fixe de communautés

La méthode de Louvain* avec un nombre fixe de communautés a été appliquée afin que les deux résultats aient 10 communautés (figures 18 et 19). Pour ce faire, il a fallu ajuster un rien la résolution pour 2011 (ρ à 1,01). Ce léger changement faisant disparaître la communauté de Beloeil indique bien que celle-ci était une anomalie dans les résultats, liée à l'instabilité. Les différences entre les deux partitions deviennent ici minimales avec un NMI de 0,98 entre les deux résultats. Cela indique une différence négligeable entre les bassins de 2001 et de 2011. Il n'y a que quatre communes qui changent de communauté et ce sont Herselt dans la province d'Antwerpen et à nouveau Ellezelles, Mont-de-l'Enclus et Mouscron. La structure géographique est globalement la même que celle du point précédent. Ces changements de communes ont lieu à la limite des communautés. Ce changement peut donc être dû à l'instabilité de la méthode et à la difficulté d'attribuer une commune, située entre deux communautés, à l'une de celles-ci. Ici, la moyenne de la stabilité pour l'ensemble de la partition est de 88,60 % (avec 199 communes hachurées), ce qui indique que la partition de 2011 avec un nombre fixe de communautés est plus instable que les autres. Une carte des différences entre ces deux résultats peut également être observée en annexe (figure 34).

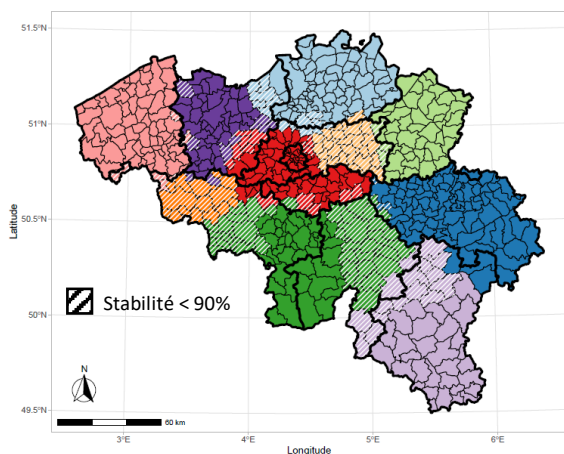


Figure 18: Communautés obtenues (nombre fixe égal à 10) avec la méthode de Louvain* ($\rho=1$) en 2001

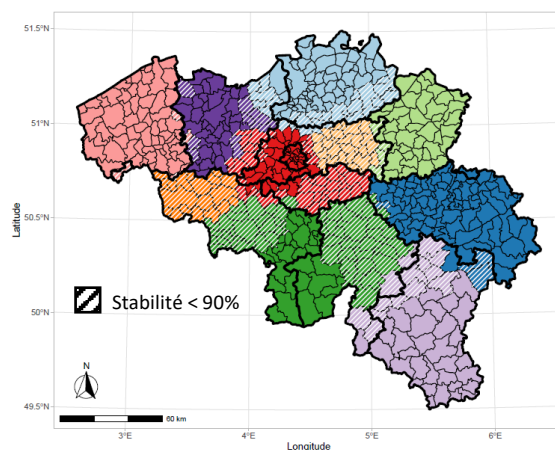


Figure 19: Communautés obtenues (nombre fixe égal à 10) avec la méthode de Louvain* ($\rho=1,01$) en 2011

Le tableau 2 reprend la compacité (indicateur c) pour chaque communauté. Celui-ci montre que le résultat pour 2011 avec un ρ égal à 1 est plus faible car la moyenne des compacités est plus basse (pour rappel, plus la compacité est grande et plus les liens intra-communauté sont forts) et l'écart type plus élevé, ce qui indique une plus grande disparité entre les différentes communautés. De plus, pour un nombre de communautés fixe égal à 10, les deux valeurs de c sont plus proches. La moyenne de 2001 reste supérieure mais avec un écart type supérieur également. La commune de Beloeil a une compacité très faible, ce qui confirme qu'elle est liée au manque de stabilité de la méthode et qu'elle ne forme pas réellement un bassin d'emploi. La compacité de Leuven est également faible. Cela peut être expliqué par la proximité de Bruxelles.

Tableau 2: Compacité (c) pour les trois différents résultats de la méthode de Louvain*

Communauté	2001 - $\rho = 1$	2011 - $\rho = 1$	2011 - $\rho = 1.01$
Antwerpen	0,81	0,73	0,73
Bruxelles	0,62	0,59	0,62
Leuven	0,47	0,45	0,45
Hasselt	0,81	0,72	0,72
Charleroi-Namur	0,73	0,67	0,67
Brugge	0,86	0,78	0,78
Gent	0,66	0,61	0,6
Tournai	0,58	0,58	0,59
Beloeil	/	0,21	/
Liège	0,87	0,78	0,79
Luxembourg	0,80	0,72	0,72
MOYENNE	0,73	0,62	0,67
ECART TYPE	0,13	0,17	0,10

4.1.3 Sensibilité aux self-loops

Les résultats obtenus en excluant les self-loops ne donnent que six communautés lorsque le ρ est fixe (figure 20). Ces six communautés reprennent très bien la forme des provinces avec quelques communes limitrophes comme exception : la Flandre orientale avec la Flandre occidentale, Le Limbourg avec Leuven, Antwerpen, le Hainaut avec Namur et Liège avec le Luxembourg. La seule à ne pas reprendre la forme d'une province est Bruxelles, sa périphérie et le Brabant Wallon.

En fixant la résolution à 0,65, neuf communautés sont obtenues (figure 21). Le nombre de communautés augmente donc bien lorsque la résolution diminue. Le NMI de ce dernier résultat avec le résultat de 2011 du point précédent est de 0,84. Malgré ce taux de ressemblance élevé, trois différences majeures sont observables : la communauté de Bruxelles est devenue très petite, le Brabant Wallon a été absorbé dans une communauté avec le Hainaut ainsi que l'ouest de la province de Namur et l'est de Namur forme une communauté avec la province du Luxembourg. Le NMI montre donc que les partitions sont semblables mais l'indice obtenu est inférieur à celui obtenu par Adam et al., 2018. Il y a donc une ressemblance entre les partitions avec et sans self-loop mais la différence est plus marquée dans ces résultats-ci (0,84 contre 0,92 pour Adam et al. 2018). Cela peut être dû à la moindre stabilité de ces résultats-ci et à la différence dans le nombre de communautés entre les résultats analysés : 9 en excluant les self-loops et 10 en les incluant.

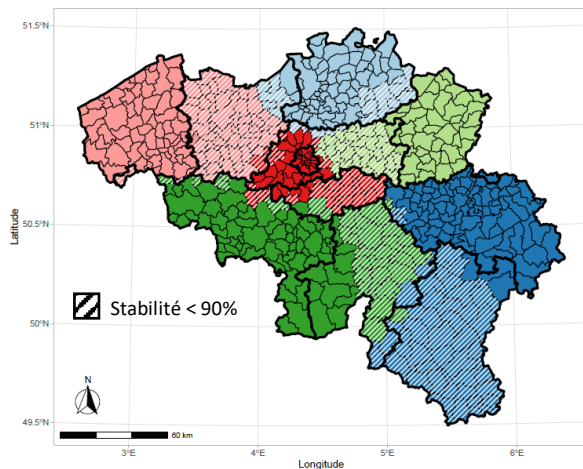


Figure 20: Communautés obtenues (6) avec ρ fixe égal à 1 avec la méthode de Louvain* en 2011 en excluant les boucles

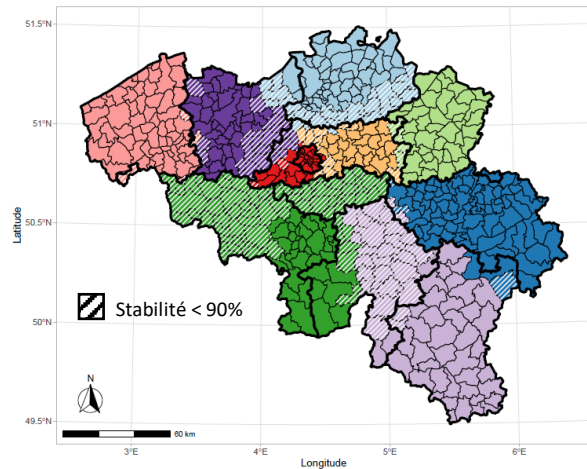


Figure 21 : Communautés obtenues (9) avec ρ de 0,65 avec la méthode de Louvain* en 2011 en excluant les boucles

4.1.4 Sensibilité aux flux belgo-luxembourgeois

La figure 22 illustre une implémentation de la méthode de Louvain* pour les communes en 2011 avec le paramètre ρ prédéfini qui inclut les données du Grand-Duché de Luxembourg. De celle-ci, il ressort que presque l'entièreté de la province du Luxembourg se retrouve attachée au pays. Il y a même quelques communes de la province de Namur qui lui sont attribuées. De plus, deux communes éloignées du Grand-Duché sont attribuées à la

communauté reprenant la province et le pays de Luxembourg. Il s'agit d'Estinnes qui se situe à la frontière avec la France et est limitrophe à Maubeuge et de Burdinne, située dans la province de Liège. Cette dernière qui est située à la frontière entre deux communautés distinctes a probablement été attribuée au Luxembourg à cause de faibles flux extra-communaux. Quant à la commune d'Estinnes, elle a probablement de grands flux partant vers la France et donc de plus petits flux extra-communaux en Belgique.

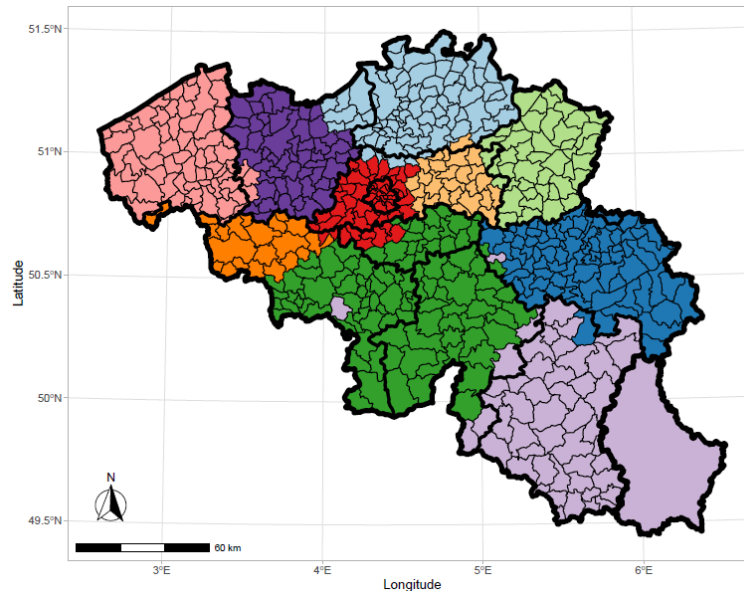


Figure 22: Communautés obtenues (10) avec la méthode de Louvain* (ρ fixe=1) en incluant le Luxembourg pour 2011

Comparativement aux résultats de la méthode de Louvain* pour 10 communautés en 2011, les communautés sont globalement les mêmes. La communauté reprenant la province du Luxembourg est similaire. De plus, si les résultats de l'influence du Grand-duché de Luxembourg sont comparés avec ceux de l'étude de la CPDT de 2011 (Lambotte et al., 2011), une seule différence majeure est observée dans le sud des cantons de l'est. Ceux-ci sont ici attribués à la communauté de Liège alors qu'ils se situent dans le bassin du Luxembourg dans l'étude de 2011. Dans la précédente étude, les deux communes dispersées (Estinnes et Burdinne) ne sont pas du tout attribuées au bassin d'emploi du Luxembourg.

4.1.5 Arrondissements et agrégation spatiale

L'analyse à l'échelle des arrondissements s'est effectuée sur trois échelles de temps : 1991, 2001 et 2011 (figures 23, 24 et 25). Pour un paramètre ρ fixe, chacun des trois résultats possède neuf communautés. Entre 1991 et 2001, les communautés wallonnes et Bruxelles sont parfaitement semblables. Des différences sont observables en Flandre. En 1991, la Flandre Occidentale est divisée en deux communautés et Leuven est liée au Limbourg. En 2001, la Flandre Occidentale ne forme plus qu'une seule communauté et Leuven également. Cependant, en 2011, Leuven reforme une communauté avec la province du Limbourg. En Wallonie, 2011 voit l'apparition d'une communauté dans le Tournaisis et le Brabant Wallon est quant à lui relié à une grande communauté comprenant les régions de Charleroi, de Mons, de Marche-en-Famenne et la province de Namur.

Le NMI a été calculé entre chaque partition et est observable dans le tableau 3. Les partitions connaissant la plus grande différence sont 1991 et 2011, ce qui pourrait indiquer qu'il y a eu le plus de changements dans les flux entre ces deux années.

Tableau 3: Information mutuelle normalisée (NMI) entre les différents résultats pour les arrondissements lorsque le ρ est constant et lorsque le nombre de communauté est fixé à 8

NMI	91-01	01-11	91-11
ρ constant = 1	0,95	0,85	0,84

Les résultats sont similaires à ceux observés pour les communes en 2001 et en 2011 même si certaines différences sont observables. L'analyse par arrondissements donne donc un partitionnement du territoire presque égal à celui des communes. Cela montre que la structure spatiale est forte. Une analyse détaillée des différences n'est pas nécessaire car l'analyse des bassins d'emploi n'est pas très pertinente à l'échelle des arrondissements. En effet l'agrégation spatiale est trop forte et il est plus que probable que chaque arrondissement ait des communes qui sont liées à un bassin d'emploi autre que l'arrondissement en question. Ce problème d'agrégation spatiale est un sujet récurrent en géographie.

Les communes ne sont pas agrégées en arrondissement en fonction de pôles d'emploi ou de leurs liens économiques. En effet, les arrondissements datent du 18^e siècle et viennent tout droit de l'époque napoléonienne. Il va de soi que la réalité territoriale et géographique belge a bien changé depuis. De plus, chaque arrondissement ne possède pas forcément un grand centre d'emploi comme c'est le cas pour l'arrondissement de Thuin par exemple. Au contraire, certains possèdent plusieurs pôles d'emploi.

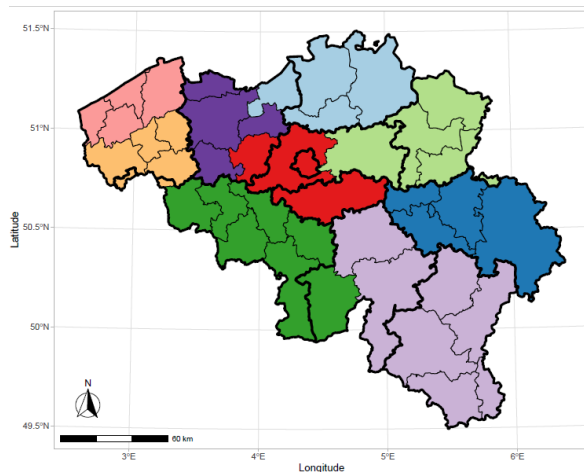


Figure 23 : Communautés obtenues (9) avec la méthode de Louvain* ($\rho=1$) pour les arrondissements en 1991

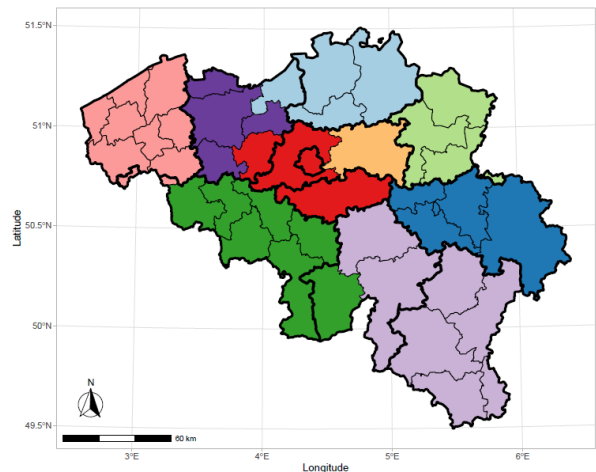


Figure 24 : Communautés obtenues (9) avec la méthode de Louvain* ($\rho=1$) pour les arrondissements en 2001

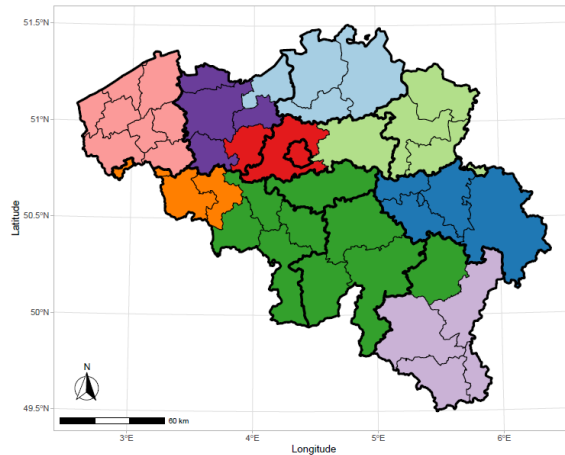


Figure 25: Communautés obtenues (9) avec la méthode de Louvain* ($\rho=1$) pour les arrondissements en 2011

4.1.6 Synthèse des résultats de la méthode de Louvain*

En résumé, les résultats obtenus au moyen de la méthode de Louvain* sont très similaires entre 2001 et 2011. Les résultats sont sensibles à l'inclusion ou exclusion des self-loops mais l'utilisation du paramètre ρ permet d'obtenir deux partitions similaires. L'inclusion des flux luxembourgeois indique que les flux transfrontaliers jouent un rôle dans la délimitation des bassins d'emploi belges. L'échelle des arrondissements montre des résultats proches de ceux obtenus à l'échelle des communes mais la perte d'information liée à l'agrégation ne peut être négligée. Finalement, pour tous les résultats obtenus, la structure en bassins d'emploi varie peu. Dès lors, celle-ci peut être considérée comme stable.

4.2 Méthode de Leiden

4.2.1 Résolution ρ fixe

La méthode de Leiden avec résolution fixe montre qu'il y a une communauté de plus en 2001 qu'en 2011 : la Flandre Occidentale est divisée en deux communautés en 2001 alors qu'en 2011, elle en forme une seule et unique (figures 26 et 27). Le MNI est de 0,93 et indique donc une forte ressemblance entre les partitions. Peu de différences sont observables dans le reste du pays et toutes sont des communes situées à la frontière entre deux communautés. Une carte des différences est visible en annexe sur la figure 35.

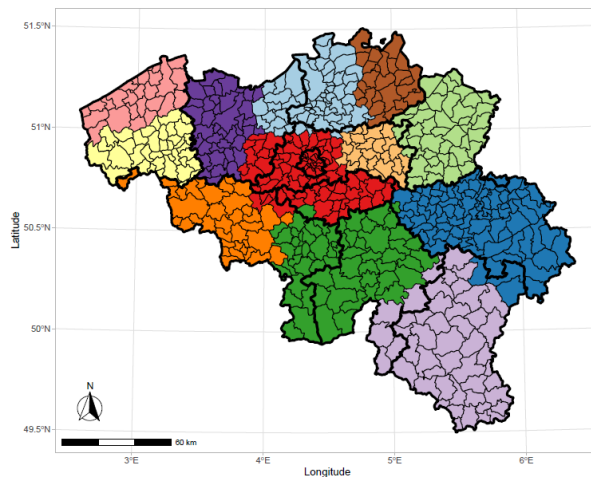


Figure 26: Communautés obtenues (12) avec la méthode de Leiden en 2001 (ρ fixe)

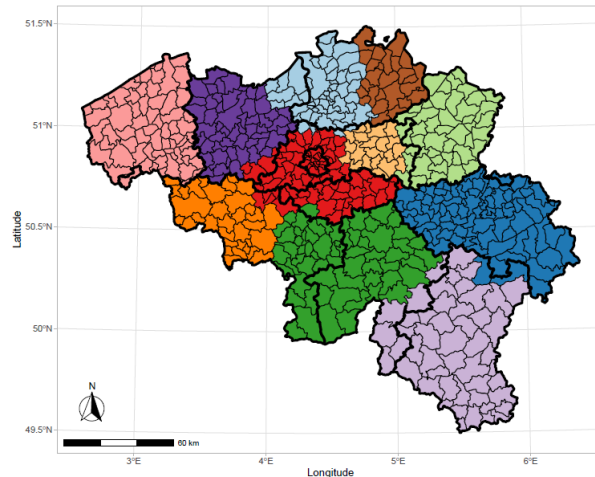


Figure 27: Communautés obtenues (11) avec la méthode de Leiden en 2011 (ρ fixe)

4.2.2 Nombre fixe de communautés

Lorsque que le nombre de communautés est fixé à 10, Il n’y a presque plus de différences entre les deux résultats (figures 28 et 29). Le MNI est égal à 0,94 et indique donc que les partitions sont fort similaires. Elles sont même plus similaires que les deux précédentes. En effet, avec un nombre fixe de communautés, il y a moins de communes qui changent de communautés entre les deux périodes. Une carte des différences a également été réalisée et est disponible en annexe (figure 36). Deux changements sont observés :

- En Wallonie, Mons forme une communauté avec Tournai en 2001 pour ensuite se rattacher à la communauté de Charleroi-Namur en 2011. En effet, comme l’illustre la précédente méthode, Mons et Tournai forment des régions instables. Mons en particulier pourrait soit former un petit bassin d’emploi (comme cela a été observé dans les études précédentes) soit, et c’est le cas ici, hésiter entre Tournai ou Charleroi, deux régions voisines avec lesquelles Mons a des échanges.
- La communauté de Gent s’agrandit en reprenant des communes à celle d’Antwerpen et celle de Bruxelles.

Les mesures de compacité pour les quatre partitions obtenues via l’algorithme de Leiden (Tableau 4) montrent que, lorsque le nombre de communautés est fixé à 10, la moyenne augmente par rapport aux partitions réalisées avec la paramètre par défaut. Comme pour la méthode de Louvain*, les partitions pour l’année 2001 semblent être de meilleure qualité car la compacité est supérieure. Les communautés regroupent donc des communes avec plus de lien intra-communautés dans ce cas.

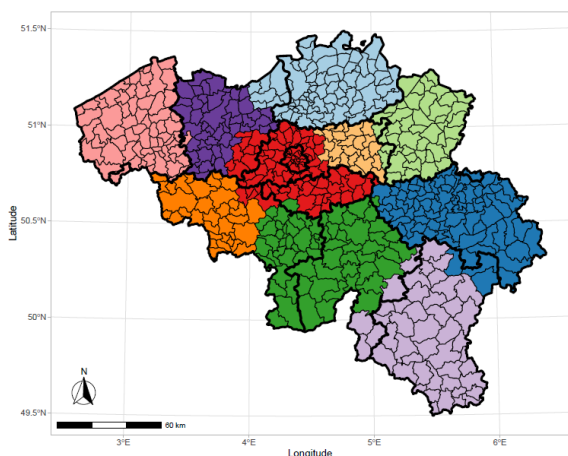


Figure 28: Communautés obtenues (10) avec la méthode de Leiden pour 2001 (résolution=0.87)

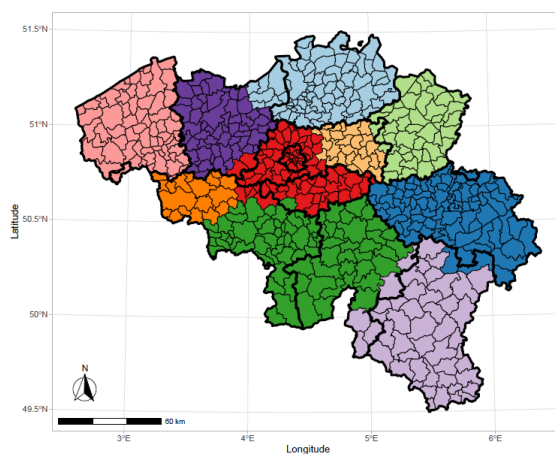


Figure 29: Communautés obtenues (10) avec la méthode de Leiden pour 2011 (résolution =0.9)

Comme la méthode de Louvain*, la méthode de Leiden permet d'obtenir des communautés de taille similaire en matière de flux échangés. Celles-ci sont également formées de communes contiguës et s'inscrivent bien dans les limites provinciales. La frontière linguistique n'est franchie que par une communauté, celle autour de Bruxelles. Bien qu'aucun centre n'ait été défini par la méthode, il est possible de trouver le ou les pôles d'emploi à l'intérieur de ces communautés. Cela peut être fait simplement grâce à une connaissance géographique de la zone d'étude. Une autre méthode consiste à définir les polarités sur base du degré des nœuds. Un degré élevé indique une grande concentration des flux au sein de la communauté (Adam et al., 2018 (2)). Les différences entre 2001 et 2011 sont quant à elles minimes, confirmant à nouveau que la délimitation en communautés structure fortement l'espace.

Tableau 4: Compacité (c) pour les quatre résultats de la méthode de Leiden sur les 589 communes

Communauté	2001 - $\rho = 1$	2001 - $\rho = 0,87$	2011 - $\rho = 1$	2011 - $\rho = 0,9$
Antwerpen	0,74	0,81	0,67	0,73
Bruxelles	0,67	0,68	0,61	0,61
Leuven	0,48	0,47	0,45	0,45
Hasselt	0,81	0,81	0,72	0,73
Charleroi-Namur	0,70	0,71	0,64	0,67
Kortrijk	0,77	/	/	/
Brugge	0,75	0,85	0,78	0,78
Gent	0,67	0,67	0,62	0,62
Tournai	0,67	0,67	0,62	0,59
Turnhout	0,64	/	0,79	/
Liège	0,87	0,87	0,79	0,79
Luxembourg	0,8	0,80	0,72	0,72
MOYENNE	0,71	0,73	0,65	0,67
ECART TYPE	0,10	0,12	0,10	0,10
CV	0,14	0,16	0,15	0,15

4.3 Méthode de la première navette

Pour rappel, pour la méthode de la première navette, il faut désigner préalablement des centres d'emploi (au nombre de dix pour comparer avec les résultats précédents). Ceux-ci sont simplement les 10 villes connaissant le nombre de travailleurs journaliers le plus élevé. Ensuite, chaque commune a simplement été attribuée au centre avec lequel son flux était le plus élevé. Il est à noter que les 19 communes Bruxelles ont été fusionnées ensemble car elles forment une seule entité. Les autres villes ont été estimées similaires à leurs communes et ont donc été choisies sur cette base.

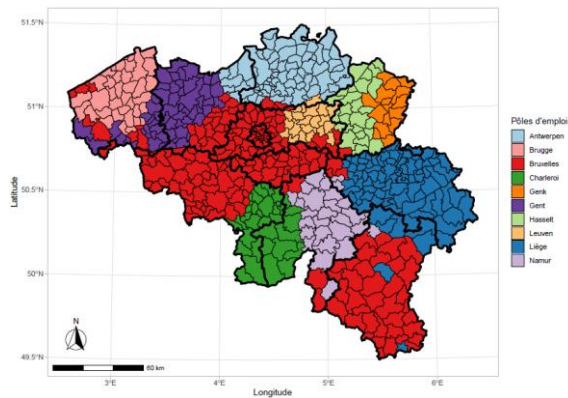


Figure 30: Méthode de la première navette pour 2001 sur base des flux avec 10 pôles

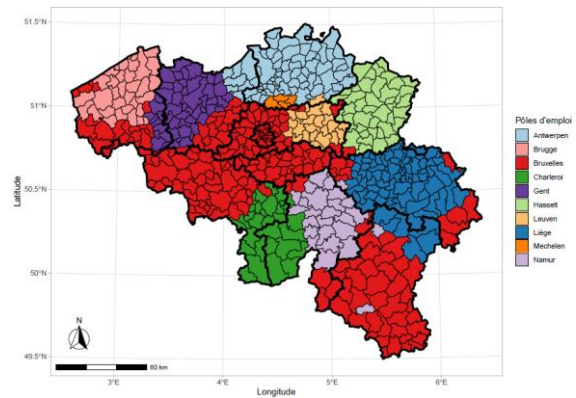


Figure 31: Méthode de la première navette pour 2011 sur base des flux avec 10 pôles

Chaque résultat (figures 30 et 31) montre des différences marquées avec les résultats des méthodes de détection de communautés. Bruxelles a une très grande communauté qui s'étend sur tout l'ouest du Hainaut et sur presque l'entièreté de la province du Luxembourg. Ce dernier cas est probablement dû à l'absence de centre d'emploi et à la négligence des flux transfrontaliers. Gent possède une excroissance vers l'ouest de la Flandre Orientale et Ieper qui est plus marquée en 2001. Celle-ci peut être expliquée par le fait que la Flandre orientale possède plusieurs petits bassins d'emploi à cause de la densité de l'urbanisation. Cela implique plus de flux vers des communes qui ne sont pas des centres et, dès lors, elles se retrouvent attribuées à Gent à cause de petits flux. Le même phénomène explique le rattachement de Tournai et de Mons à Bruxelles. Quelques communes frontalières dans le sud du pays (et dans les cantons de l'est en 2011) sont également attribuées à Bruxelles. L'hypothèse de cette observation est que leur centre principal serait la ville étrangère la plus proche.

Ces deux résultats montrent quelques différences entre 2001 et 2011 :

- Les résultats ont neuf pôles en commun sur dix. Celui qui varie est Genk pour 2001 et Mechelen pour 2011. Il faut noter que ces deux pôles étaient à chaque fois celui des 10 ayant le flux le plus faible. Cela impacte donc fortement les résultats en Flandre au niveau d'Antwerpen, du Limbourg et du Brabant Flamand. Les bassins issus de ces deux pôles n'apparaissent jamais dans les résultats des deux autres méthodes : Mechelen fait partie de la communauté de Antwerpen et Genk forme une communauté avec Hasselt dans le Limbourg. En outre, les méthodes précédentes avaient presque tout le

temps deux bassins non présents ici : celui de Tournai et celui de la province du Luxembourg. Cependant, dans les méthodes précédentes, Charleroi et Namur formaient un seul bassin alors qu'ici ils en forment ici deux distincts. En effet, Charleroi et Namur sont deux pôles d'emploi en Wallonie. Les méthodes de détection de communautés les lient probablement ensemble à cause de l'infrastructure routière et ferroviaire forte les reliant (Thomas et al., 2017).

- Quelques communes limitrophes à d'autres pays sont attribuées à Bruxelles (et plus particulièrement dans le sud du pays). Leur nombre augmente en 2011, principalement dans les cantons de l'est et dans l'ouest de la Flandre Occidentale.

Tableau 5 : Compacité (c) pour les deux résultats de la méthode de la première navette à l'échelle des communes

Pôle	2001	2011
Antwerpen	0,80	0,72
Bruxelles	0,73	0,70
Leuven	0,44	0,45
Hasselt	0,57	0,73
Charleroi	0,64	0,57
Brugge	0,74	0,66
Gent	0,65	0,61
Mechelen	/	0,27
Genk	0,59	/
Liège	0,87	0,77
Namur	0,55	0,49
MOYENNE	0,66	0,60
ECART TYPE	0,13	0,15

Les deux résultats sont similaires, que ce soit au niveau du choix des centres ou au niveau des aires d'attraction de ces centres. Le NMI de 0,85 est encore une fois relativement élevé mais il est plus faible que celui obtenu par les méthodes de Louvain et de Leiden. La moyenne de l'indicateur de compacité (Tableau 5) est plus faible pour ces deux partitions que pour celles obtenues avec les méthodes de Louvain* et de Leiden. De même, l'écart type est plus élevé. Cela illustre que les bassins formés ne sont pas de taille similaire en termes de flux échangés. Cela est logique et peut s'expliquer par le fait que les autres méthodes essaient d'optimiser leur partition alors que celle-ci utilise uniquement le flux le plus élevé à un centre, sans processus itératif.

4.4 Modèle gravitaire simple

Le modèle gravitaire est basé sur la population active de 2011 et sur la distance euclidienne entre les centroïdes des communes. Les centres ont été définis préalablement sur base des communes ayant une population active la plus élevée. Les flux estimés par le modèle gravitaire ont été utilisés pour déterminer les bassins d'emploi au moyen de la méthode de la première navette.

Le partitionnement avec les flux estimés par le modèle gravitaire (figure 32) montre plusieurs différences avec celui obtenu par les flux réels (figure 31). En effet, le NMI entre les deux découpages est de 0,65. Voici les différences observables :

- Il n'y a pas de bassin dans la province du Limbourg avec les flux estimés. Celui-ci se retrouve partagé entre Bruxelles et Liège.
- Le bassin lié à Bruxelles voit son étendue augmenter autour de la botte de Givet. Il s'agit de communes éloignées des centres.
- La frontière régionale n'est plus marquée et est devenue perméable. Les frontières provinciales ne sont également plus suivies.
- Un nouveau bassin apparaît autour de Aalst. Ce bassin n'a été observé dans aucun des précédents résultats. En effet, Aalst se situe entre Bruxelles et Gent, deux grands pôles d'emploi. Il est intéressant de noter que cette zone était très instable dans les autres résultats car elle était fusionnée soit avec Gent, soit avec Bruxelles.

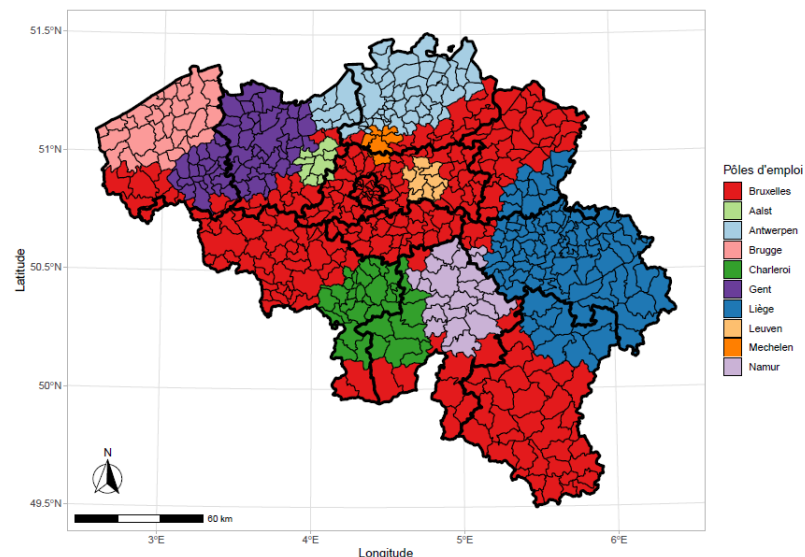


Figure 32: Méthode de la première navette pour 2011 sur base des flux estimés par le modèle gravitaire avec 10 pôles d'emploi

Le but principal de l'utilisation de ce modèle est de comparer si les résultats avec les flux estimés sont semblables à ceux obtenus avec les flux réels. Malgré les différences énoncées, le NMI est quand même de 0,65 et les résultats sont globalement similaires. Deux facteurs jouent principalement un rôle dans les différences énoncées. Le premier est que la frontière linguistique est ici perméable alors que ce n'est pas le cas pour les autres méthodes utilisées (excepté le bassin de Bruxelles). Un nouveau paramètre de friction de l'espace reprenant la région pourrait être introduit dans le modèle gravitaire afin de simuler cette barrière linguistique.

Le second est le choix des centres qui joue pour beaucoup dans le résultat. Si les mêmes centres d'emploi avaient été désignés pour l'application de la méthode avec flux estimés et avec flux réels, les deux résultats auraient probablement été plus proches l'un de l'autre. Le choix méthodologique, bien qu'imparfait, voulait être le plus simple possible. Force est de

constater que, dans le cas de la méthode de la première navette (avec flux estimés ou avec flux réels), ne pas définir les centres selon des critères complexes ou selon une connaissance géographique induit des résultats dénués de sens dans les zones où des pôles d'emploi ont été omis. Un choix pertinent dans la désignation des centres a notamment été réalisé par Marissal et al., 2006 et a été expliqué dans la Section 2.2.1.

4.5 Synthèse des résultats

4.5.1 Méthodologie

Le répartition issue de la méthode de Louvain* possède une compacité moyenne égale à celle de Leiden (tableau 6). Les résultats de la méthode de la première navette ont une compacité moyenne plus faible que les deux autres. Cette différence illustre que les méthodes de détection de communautés visent bien à minimiser les liens inter-communautés grâce à leur algorithme. Les communautés suivent étonnamment bien les frontières provinciales et la frontière linguistique, sauf pour la communauté de Bruxelles.

L'instabilité de la méthode de Louvain* a été illustrée au moyen des zones hachurées qui représentent les communes placées dans une même communauté pour moins de 90 tests sur 100. Le nombre de zones hachurées varie entre 144 pour 2001 et 199 pour 2011 (avec 10 communautés). Cela constitue entre un quart et un tiers des communes belges. Ce nombre élevé pourrait montrer que la méthode est très instable. Cependant, le pourcentage moyen de stabilité est proche de 90%, ce qui relativise cette instabilité.

Tableau 6: Indicateur *c* pour les résultats obtenus par les trois méthodes pour des partitions de 10 communautés

Compacité	Louvain* 2001	Louvain* 2011	Leiden 2001	Leiden 2011	Navette 2001	Navette 2011
MOYENNE	0,73	0,67	0,73	0,67	0,66	0,60
ECART TYPE	0,13	0,10	0,12	0,10	0,13	0,15

Les analyses de sensibilité (boucles et flux transfrontaliers) offrent des résultats similaires à ce qui pouvait être attendu de la littérature. Concernant les arrondissements, les résultats illustrent bien le problème d'agrégation spatiale (MAUP). L'arrondissement est une unité spatiale trop grande pour déterminer des bassins d'emploi. Néanmoins, les résultats concordent avec ceux obtenus à l'échelle des communes.

La méthode de la première navette demande un choix préalable de pôles d'emploi. Ceux-ci ont été définis sur base d'un critère simple. Les centres d'emploi ne sont pas tout à fait les mêmes que ceux qui pourraient être dressés a posteriori pour les résultats des méthodes de détection de communautés. Le choix de ces pôles d'emploi devrait se faire sur des critères plus complexes et objectifs tels que repris par Marissal et al. en 2006.

Le résultat obtenu avec les flux estimés par le modèle gravitaire connaît quelques différences par rapport à celui obtenu avec les flux réels même si le NMI est de 0,65. Les deux différences majeures sont la désignation des centres et le franchissement de la frontière linguistique. Elles

s'expliquent par les choix méthodologiques. Un paramètre de friction de l'espace aurait pu être introduit dans le modèle pour simuler l'effet de la frontière linguistique. En effet, un modèle gravitaire avec les bons paramètres permettrait d'obtenir une meilleure estimation des flux entre différentes entités. Les centres auraient pu être les mêmes pour les deux résultats s'ils avaient été désignés arbitrairement et non sur base de critères simples.

4.5.2 Réalité géographique belge

Les résultats de ces trois méthodes sont similaires et il est possible d'énumérer quelques réalités de la géographie belge. Plusieurs de ces constats sont similaires à ceux portés par Thomas et al., 2017. Pour chaque méthode, les communes proches et contigües sont agrégées en bassins d'emploi. Cela est expliqué par le fait que des endroits proches ont des interactions plus fortes. La frontière linguistique est une barrière forte entre la Wallonie et la Flandre. Elle n'est perméable qu'autour de la métropole Bruxelles qui a impact important sur tout le territoire qui l'avoisine. Plus de bassins sont observables en Flandre. En effet, la revue de la littérature précisait que celle-ci connaît une densité du bâti plus importante qu'en Wallonie. L'emploi y est aussi réparti de manière plus égalitaire.

Dans tous les résultats, les plus grandes villes de Belgique se retrouvent dans des bassins : Bruxelles, Antwerpen, Gent, Liège et Charleroi. Le bassin de Bruxelles s'étend sur les provinces de Brabant à l'exception de Leuven. Le bassin d'Antwerpen dépasse souvent sur la province de Flandre Orientale au niveau de Beveren où une extension du port a été réalisée (Thomas et al., 2017). Charleroi est souvent groupée avec Namur car les deux villes sont reliées par d'importantes infrastructures routières et ferroviaires. Le Tournaisis est une région très instable se situant près de la Flandre, près de Mons et près de Lille. La province du Luxembourg forme un bassin d'emploi avec le Grand-Duché de Luxembourg même si ce dernier n'est pris en compte que dans un seul résultat. Finalement, les communes limitrophes ou qui se situent entre deux pôles d'emploi sont instables car elles sont influencées soit par les pays voisins, soit par plusieurs pôles d'emploi.

4.5.3 Différence 2001-2011.

Si la commune de Beloeil est omise (car il s'agit d'un outlier), le nombre de bassins reste inchangé pour la méthode de Louvain* mais diminue de 1 pour la méthode de Leiden entre 2001 et 2011. Il agit d'une communauté en Flandre orientale. Cette baisse d'une communauté pour la méthode de Leiden peut être liée à l'augmentation des déplacements domiciles-travail discutée dans la littérature. L'étude de la CPDT (Lambotte et al., 2011) voyait aussi son nombre de bassins diminuer au cours du temps. Un autre point important est que, pour les trois méthodes, la moyenne de la compacité a diminué entre 2001 et 2011. Or une diminution de la compacité implique soit une diminution des liens intra-communauté, soit une augmentation des liens inter-communauté. Cela peut donc se traduire par une augmentation des déplacements domicile-travail même si la structure des bassins ne change pas.

CHAPITRE 5. Discussion

5.1 Méthodes utilisées et leurs réalités

La partition du territoire grâce aux méthodes de détection de communautés permet une division en bassins d'emploi de tailles similaires en matière de flux. Ce processus est également plus apte à amener à un découpage de type régionalisation (Adam et al., 2018 (1)). Les méthodes ne nécessitent pas que des centres d'emploi soient définis à l'avance. Cependant, Adam et al., 2018 (1) précise que les communautés obtenues ne peuvent être appelées des « bassins » car elles ne possèdent justement pas de pôle d'emploi. Il ajoute que des centres peuvent être défini a posteriori sur base du degré des nœuds.

Malgré leur algorithme différent, les méthodes de Leiden et de Louvain* offrent des résultats très similaires en matière de découpage. Un des avantages principaux de l'utilisation des méthodes de détection de communautés est leur fonctionnement endogène. Cependant, la méthode a quand même besoin d'une étude de sensibilité afin d'obtenir des résultats plus stables. En effet, l'analyse du paramètre ρ est primordiale. L'étude des flux transfrontaliers montre que ces derniers influencent les bassins d'emploi comprenant des communes limitrophes.

Le problème de l'agrégation spatiale est un obstacle récurrent pour les géographes. Il apparaît que l'échelle communale est une échelle acceptable qui permet d'avoir une division similaire à celle utilisée sur l'échelle des secteurs statistiques (Thomas et al., 2017). Cependant, l'échelle des arrondissements est moins précise et entraîne une perte d'information.

La différence de résultats entre d'une part les méthodes de détection de communautés et d'autre part la méthode de la première navette peut être expliquée par le fonctionnement des méthodes. Les premières tiennent compte de l'ensemble des flux pour chercher à maximiser leur fonction objectif. Comme expliqué précédemment, cela crée des communautés de taille similaire en termes de flux échangés. La méthode de la première navette ne cherche pas à faire de compromis et assigne des communes à un bassin uniquement sur base de la valeur maximale du flux. Cela induit que les communes mal polarisées sont souvent attribuées à la ville qui connaît le plus de flux, à savoir Bruxelles. Une autre manière de comparer la méthode de Louvain*/Leiden avec celle de première navette aurait été possible. Pour ce faire, il aurait fallu calculer les centres des communautés issues de Leiden/Louvain* et prendre les mêmes centres pour la méthode de la première navette. Cela n'a pas été fait par soucis d'automatisation de la méthode et de choix objectif de critères.

La méthode de la première navette montre une division de l'espace faussée car elle dépend du choix de centres d'emploi. Le nombre de ceux-ci a été fixé arbitrairement à 10 pour la comparaison et ils ont été déterminés simplement. Ceux-ci devraient être désignés sur base de facteurs objectifs comme ceux dressés dans les monographies du recensement (Marissal et al., 2006). Contrairement à la méthode de Louvain, cette méthode ne désigne pas des bassins de taille plus ou moins égale. En effet, le bassin de Bruxelles englobe un tiers du

territoire. En revanche, elle aurait du sens afin de jeter un premier coup d'œil sur la division du territoire et les zones mal polarisées. Ces dernières pourraient être facilement illustrées en utilisant la méthode des 10% d'actifs, méthode développée dans la revue de la littérature et employée par Marrisal et al., 2006.

Le résultat obtenu avec les flux estimés par le modèle gravitaire est différent de celui obtenu avec les flux réels principalement à cause de deux facteurs : la frontière linguistique et la différence de centres d'emplois. Comment le modèle pourrait être amélioré a déjà été expliqué dans la section 4.5.1. En l'absence de données sur les déplacements domicile-travail, ce modèle simple permet d'estimer les flux sur base des actifs et de la distance. Les résultats obtenus par la méthode de la simple navette sont alors similaires à 65% à ceux obtenus pour les flux réels. Ce résultat n'est pas négligeable. Pour rappel, l'accès aux données de flux domicile-travail est devenu difficile et ces données présentent parfois des lacunes (Lambotte et al., 2016 ; Ermans et al., 2017).

Quelques soient la méthode ou la période, les résultats sont très similaires. Cela tend à confirmer que la délimitation en bassins d'emploi varie peu et que celle-ci structure fortement l'espace. Entre 2001 et 2011, il y a très peu de différences mais pour, chaque méthode, une baisse de la compacité est observable. Cela peut être dû à une augmentation des liens extra-communautés et donc une augmentation de la distance parcourue par les travailleurs entre leur domicile et leur travail. Cela concorderait alors avec ce qui a été observé par les études dans la revue de la littérature. Une autre explication est la lacune des données concernant les indépendants en 2011. Il a été montré dans les études que les indépendants se déplaçaient sur de plus petites distances que les salariés. Si ceux-ci sont mal représentés dans les données, ils pourraient avoir un impact sur le résultat.

La méthode MIRABEL, longuement discutée dans la revue de la littérature, n'a pas été appliquée dans ce mémoire. Cette méthode permet de mettre en évidence des territoires polarisés grâce à son processus itératif. Elle peut notamment être utilisée pour la constitution d'entités administratives supra-communales (Adam et al., 2018 (2) ; Lambotte et al., 2016 ; Lambotte, 2018). Elle n'a pas été utilisée car une comparaison détaillée avec la méthode de Louvain a déjà été faite par Adam et al., 2018 (1).

Finalement, aucune méthode n'est parfaite et chacune offre une réalité géographique différente. Le rôle du géographe est donc d'identifier quelles méthodes sont les plus pertinentes à utiliser en fonction des buts poursuivis. Les méthodes de détection de communautés sont prégnantes et se fient aux données. La réflexion se fait alors a posteriori. La méthode de la première navette nécessite quant à elle de faire des choix avant d'appliquer la méthode. Comme le précise Miller, 2017, le géographe doit s'ancrer entre la micro-géographie qui applique un empirisme descriptif et la macro-géographie qui est à la recherche de lois universelles. Une connaissance du terrain est nécessaire pour interpréter les résultats des méthodes utilisées.

5.2 Limites

Plusieurs limites peuvent être soulevées dans ce mémoire. Premièrement, la comparaison des résultats entre 2001 et 2011 se fait sur base de données qui n'ont pas été récoltées de la même manière. Le recensement administratif de 2011 a surtout des lacunes sur les données des indépendants. Or ceux-ci représentent plus de 15% de la population active et pourraient être inégalement répartis dans l'espace. De plus, les analyses des déplacements domicile-travail ont montré que les indépendants se déplaçaient moins que les employés (Gimenez-Nadal et al., 2020). Cette population spécifique pourrait donc avoir eu un impact sur les résultats. Dans le même ordre d'idée, les données pour les flux luxembourgeois connaissent aussi des lacunes et ne sont pas comparables aux données de flux belges. Cependant, les flux transfrontaliers ont été largement étudiés dans la littérature (Verhetsel et al., 2009 ; Lambotte et al., 2011) et semblent avoir un impact non négligeable sur les bassins d'emploi situés à la frontière des pays voisins. Ces résultats semblent ainsi venir confirmer les hypothèses selon lesquelles les flux transfrontaliers doivent être pris en considération.

Deuxièmement, l'analyse du paramètre de résolution optimal n'a aucunement été effectué dans ce travail. En effet, le but poursuivi était d'obtenir un nombre fixe de communautés. Seule la méthode basique a donc été utilisée dans le cadre de cette recherche en changeant la résolution uniquement pour obtenir un nombre de communautés similaire.

Troisièmement, le nombre de tests réalisés pour définir la stabilité des partitions a été fixé à 100 alors que la littérature fixe généralement ce seuil à 1000. Plus de tests permettent d'avoir des résultats plus significatifs. Vu que le nombre de communes est de 589, un nombre de tests fixé à 1000 permettrait de faire tourner la méthode pour qu'hypothétiquement, chaque commune soit initiatrice d'un test. Tout en étant conscient de l'impact de ce choix, la limite a été fixée à 100 pour des raisons de temps. L'objectif n'est pas de trouver la meilleure méthode ou la meilleure partition mais de comparer les résultats de différentes méthodes.

5.3 Géographie économique de la Belgique

La revue de la littérature a dressé une évolution détaillée des déplacements domicile-travail entre le début du 19^e siècle et aujourd'hui. L'espace géographique belge a fortement été influencé par cette évolution et les bassins d'emploi n'ont cessé de changer avec le temps. La dernière évolution significative de l'économie a été le passage d'une économie industrielle à une économie post-industrielle et une métropolisation (Vandermotten, 2017). Depuis lors, la structure géographique de l'espace belge reste stable et cela a été observé dans les résultats : peu de différences entre 2001 et 2011. La métropole de Bruxelles attire beaucoup d'emploi et cela s'illustre aussi dans les résultats.

CHAPITRE 6. Conclusion

Aujourd'hui encore, les déplacements domicile-travail structurent le territoire et la mobilité (Ermans et al., 2017). Dès lors, étudier les bassins d'emploi et leur évolution reste une recherche pertinente. L'analyse des résultats de plusieurs méthodes montre peu de différences au niveau du découpage. Chaque méthode présente des inconvénients et des avantages. Pour autant, analyser chacune d'entre elles permet de comprendre le partitionnement du territoire de manière différente. Toute méthode doit cependant être utilisée avec vigilance afin de pouvoir en tirer des conclusions pertinentes. Les méthodes de détection de communautés sont plus efficaces pour régionaliser le territoire. La méthode de la première navette permet quant à elle un partitionnement rapide et pourrait mettre en évidence les zones mal polarisées du territoire. Dans tous les cas, le géographe se doit de continuer à emprunter des méthodes à d'autres disciplines telles que les mathématiques ou statistiques si celles-ci sont pertinentes pour les recherches qu'il effectue.

La différence des bassins d'emploi entre 2001 et 2011 est liée à l'évolution des déplacements domicile-travail et ces derniers ne cessent d'augmenter. Cependant, il existe peu de différences entre 2001 et 2011. En effet, l'espace géographique belge a peu changé depuis désindustrialisation de l'économie dans les années 80. La structure en bassin d'emploi est depuis très stable et a une empreinte territoriale forte.

A l'heure où l'ensemble de la population est restreint dans ses déplacements pour cause de pandémie, nul ne sait comment vont évoluer les déplacements liés au travail à l'avenir. Il est néanmoins fort probable que le télétravail ne remplacera pas la richesse du contact humain présent sur le lieu de travail. De plus, l'étude des bassins d'emploi et de leur évolution reste et restera sûrement pertinente dans le futur. L'espace géographique belge sera-t-il totalement bouleversé par les changements actuels ?

Bibliographie

- Adam, A., Charlier, J., Debuissou, M., Duprez, J., Reginster, I. et Thomas, I. (2018). Bassins résidentiels en Belgique : deux méthodes, une réalité ? *L'Espace Géographique*, 1(1), 35-50.
- Adam A., Delvenne J.-C. et Thomas I. (2017). Cartography of interaction fields in and around Brussels: commuting, moves and telephone calls, *Brussels Studies*, 118.
- Adam A., Delvenne J.-C. et Thomas I. (2018). Detecting communities with the multi-scale Louvain method: robustness test on the metropolitan area of Brussels. *Journal of Geographical Systems.*, 20, 363–386.
- ADEM (2019). *Statistiques sur l'emploi - Inspection générale de la sécurité sociale (IGSS)*. <https://adem.public.lu/fr/marche-emploi-luxembourg/faits-et-chiffres/statistiques/igss.html>, dernière visite le 18 avril 2021.
- Andreev P., Salomon I. et Pliskin N. (2010). Review: State of Teleactivities. *Transportation Research Part C-emerging Technologies*. 18. 3-20.
- Blondel V., Guillaume J.L., Lambiotte R. et Lefebvre E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks, *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 10, P10008.
- Blondel V., Krings G. et Thomas I. (2010). Régions et frontières de téléphonie mobile en Belgique et dans l'aire métropolitaine bruxelloise, *Brussels Studies*, Collection générale, 42.
- Burger M., van Oort F. et Meijers E. (2019). Examining Spatial Structure Using Gravity Models. In: D'Acci L. (eds) *The Mathematics of Urban Morphology. Modeling and Simulation in Science, Engineering and Technology*. Birkhäuser, Cham.
- Census2011 (2015). *CENSUS 2011 : DÉPLACEMENTS DOMICILE LIEU DE TRAVAIL*, https://census2011.fgov.be/analyse/flux_fr.html, dernière visite le 18 avril 2021.
- Census2011 (2014). *Historique*, https://www.census2011.be/info/history_fr.html, dernière visite le 18 avril 2021.
- De Wasseige Y., Laffut M., Ruyters C., et Schleiper P. (2000). Bassins d'emploi et régions fonctionnelles : méthodologie et définition des bassins d'emploi belges. Namur : Service des études et de la statistique.
- Delvenne J.C., Schaub M.T., Yaliraki S.N. et Barahon M. (2013). The stability of a graph partition: A dynamics-based framework for community detection. *Dynamics On and Of Complex Networks*, 2, 221.
- Dumolard P. (1975). Région et régionalisation une approche systémique. *L'Espace Géographique*, 4(2), 93-111.
- Ermans T., Brandeleer C., d'Andrimont C., Hubert M. et Marissal P. (2017). Bruxelles et ses déplacements domicile-travail et domicile-école, *Belgeo*, 4

- Ermans T., Brandeleer C., Hubert M., Lebrun K. et Sieux F. (2018). Déplacements domicile-travail : état des lieux et perspectives d'action pour les entreprises, *Brussels Studies*, Notes de synthèse, 125
- Ettema, D. (2010). The impact of telecommuting on residential relocation and residential preferences: A latent class modelling approach. *The Journal of Transport and Land Use*, 3, 7-24.
- Fortunato S, Barthélemy M. (2007). Resolution limit in community detection. *Proceedings of the National Academy of Sciences.*, 104, 1, 36–41.
- Géoconfluences (2015). *Bassins, zones (d'emploi, de vie, etc)*. <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/bassins-zones-demploi-de-vie-etc>, dernière visite le 23 avril 2021.
- Gimenez-Nadal J. I., Molina J. A. et Velilla J. 2020. Trends in Commuting Time of European Workers: A Cross-Country Analysis. *Institute of Labor Economics (IZA)*, Discussion Papers 12916.
- Grimmeau J.-P. (1994). Le modèle gravitaire et le facteur d'échelle. Application aux migrations intérieures de la Belgique 1989-1991. *Espace, populations, sociétés*. 1. 131-141.
- Husson, J. F. (2020). Réformes territoriales : où en est la Belgique ? *Revue de l'association Europa*, 3, p. 45-47.
- INSEE (2020). *Zone d'emploi*. <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1361>, dernière visite le 23 avril 2021.
- INSEE (2015). Les zonages d'étude de l'Insee : Une histoire des zonages supra communaux définis à des fins statistiques. *INSEE méthodes*, 129.
- Johnston R., Harris R., Jones K., Manley D., Wang W. W. et Wolf L. (2019). Quantitative methods I: The world we have lost – or where we started from. *Progress in Human Geography*, 43, 6, 1133-1142.
- Johnston R., Harris R., Jones K., Manley D., Wang W. W. et Wolf L. (2019). Quantitative methods II: How we moved on – Decades of change in philosophy, focus and methods, *Progress in Human Geography*, 1-13.
- Lachapelle U., Tanguay G. A. et Neumark-Gaudet, L. (2018). Telecommuting and sustainable travel: Reduction of overall travel time, increases in non-motorised travel and congestion relief? *Urban Studies*, 55, 10, 2226–2244.
- Lambiotte R., Delvenne J.-C. et Barahona M. (2009). Laplacian Dynamics and Multiscale Modular Structure in Networks. *arXiv e-prints*.
- Lambotte J.-M., Leclercq A. et Bazet-Simoni C. (2011). Hiérarchie urbaine et aires d'influence. *Notes de Recherche, CDPT*, 25.

- Lambotte J.-M., Sandu R. et Bianchet B. (2016). Recherche R1, état du territoire wallon : Rapport scientifique partie 3/3 : structure territoriale de fait : L'échelle régionale et transfrontalière. *CPDT*.
- Lambotte, J.-M. (2018). Mise à jour des connaissances sur les bassins d'emploi. *FORFOR, CECAFOC*.
- Leamer E.E et Storper M. (2001). The Economic Geography of the Internet Age. *Journal of International Business Studies, Palgrave Macmillan Journals*, 32, 4, 641-665.
- Marissal P., Medina Lockhart P., Vanderhoffen C. et Van Hamme G. (2006). Enquête socio-économique 2001, Monographie n°6 : les structures socio-économiques de l'espace belge. SPF Economie, PME, Classes moyennes et Energie Direction générale Statistique et Information économique.
- Miller H. J. (2018). Geographic information science II: Mesogeography: Social physics, GIScience and the quest for geographic knowledge. *Progress in Human Geography*. 42, 4, 600-609.
- Newman M.E.J. et Girvan M. (2004). Finding and evaluating community structure in networks. *Physical Review E*, 69, 2, 026113.
- Richard Y. (2014). Régionalisation, régionalisme et intégration régionale : concepts flous et nécessaire clarification. Dans : Alia Gana éd., *La régionalisation du monde : Construction territoriale et articulation global/local* (p. 21-43). Paris: Karthala.
- Shabanpour R., Golshani N., Tayarani M., Auld J. et Mohammadian A. (2018). Analysis of telecommuting behavior and impacts on travel demand and the environment. *Transportation Research Part D Transport and Environment*, 62.
- Sissons P. (2019). Population, Migration and Commuting Patterns in a Changing City.
- Strehl A. et Ghosh J. (2002). Cluster ensembles – A knowledge reuse framework for combining multiple partitions. *Journal of Machine Learning Research*, no 3, p. 583-617.
- SPF Mobilité (2019). Diagnostic fédéral sur les déplacements domicile-travail 2017.
- SPW Territoire (2021). *SDER*. http://lamspw.wallonie.be/dgo4/site_amenagement, dernière visite le 23 avril 2021.
- Tanguay G.A. et Lachapelle U. (2019). Potential Impacts of Telecommuting on Transportation Behaviours, Health and Hours Worked in Québec. *CIRANO Project Reports*, 07.
- Thomas I., Verhetsel A. et Lorant V. (2009). Le recensement de la population : un requiem ? *Regards Economiques*, 67, 8p.
- Thomas I., Adam A. et Verhetsel A. (2017). Migration and commuting interactions fields: a new geography with community detection algorithm? *Belgeo*, 4, 18p.

- Tobler W. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 46, 2, 234-240p.
- Traag V.A., Waltman L. et van Eck N.J. (2019). From Louvain to Leiden: guaranteeing well-connected communities. *Scientific Reports* 9, 5233.
- Van Criekingen M. (2013). La gentrification mise en politiques, *Métropoles*, 13.
- Vandermotten C. (2017). Les structures économiques de la Belgique et leur spatialité, des Golden Sixties à aujourd'hui. *Belgeo*, 4.
- Verhetsel A., Beckers J. et De Meyere M. (2018). Assessing Daily Urban Systems: A Heterogeneous Commuting Network Approach. *Networks and Spatial Economics*, 18, p. 633–656.
- Verhetsel A., Van Hecke E., Thomas I., Beelen M., Halleux J.-M., Lambotte J.-M., Rixhon G. et Mérenne-Schoumaker B. (2009) Enquête socio-économique 2001, Monographie n°10 : Le mouvement pendulaire en Belgique : les déplacements domicile-lieu de travail, les déplacements domicile-école. SPF Economie, PME, Classes moyennes et Energie Direction générale Statistique et Information économique.
- Wang C., Wang F. et Onega T. (2020). Network optimization approach to delineating health care service areas: Spatially constrained Louvain and Leiden algorithms. *Transactions in GIS*, 00, 1-17.

Liste des figures

Figure 1: Distance moyenne de la navette en 2001 (km) par commune de résidence (Verhetsel et al., 2009)	7
Figure 2: Évolution de la distance moyenne (km) entre 1991 et 2001 par commune (Verhetsel et al., 2009)	8
Figure 3: Bassins d'emploi de 1991 selon la première navette (Marissal et al., 2006)	12
Figure 4: Bassins d'emploi de 2001 selon la première navette (Marissal et al., 2006)	12
Figure 5 : Bassins d'emplois de 2001 selon le critère de 10% des actifs (Marissal et al., 2006)	12
Figure 6: Evolution du découpage du territoire belge en bassins d'emploi entre 1991 et 2008 (Lambotte, 2018).....	14
Figure 7: Découpage du territoire belge en bassins d'emploi en prenant en compte les flux luxembourgeois (Lambotte, 2018).....	14
Figure 8: Evolution entre 2004 et 2014 du découpage du territoire belge en bassins d'emploi (Lambotte et al., 2016)	15
Figure 9: Etapes de la méthode de Louvain. Les nœuds sont chacun assignés à une communauté (b) et ils sont ensuite fusionnés (c). La taille des cercles représente la taille de la communauté en termes de flux échangés (Traag et al., 2019).	16
Figure 10: Influence du paramètre ρ sur la partition (Adam et al., 2018 (2))	17
Figure 11: Détection des communautés de navettes pour la Belgique en 2011 (à gauche sur base des communes et à droite sur base des secteurs statistiques) (Thomas et al., 2017). ..	18
Figure 12: Stabilité de la détection de communautés des navettes pour la Belgique en 2011 (à gauche sur base des communes et à droite sur base des secteurs statistiques) (Thomas et al., 2017).	18
Figure 13: Détection de communautés des navettes (A) avec et (B) sans self-loops (Adam et al., 2018 (2))	19
Figure 14: Analyses menées afin de délimiter des bassins d'emploi.....	21
Figure 15: Méthode de Leiden sur un ensemble de nœuds. Les nœuds sont groupés en communautés (a). La répartition obtenue est ensuite améliorée (b) et le réseau est agrégé (c). Le processus se répète jusqu'à ce qu'il ne puisse plus être amélioré (Traag et al., 2019).	27
Figure 16: Communautés obtenues (10) avec la méthode de Louvain* (ρ fixe=1) en 2001 ..	29
Figure 17: Communautés obtenues (11) avec la méthode de Louvain* (ρ fixe=1) en 2011 ..	29
Figure 18: Communautés obtenues (nombre fixe égal à 10) avec la méthode de Louvain* (ρ =1) en 2001	31

Figure 19: Communautés obtenues (nombre fixe égal à 10) avec la méthode de Louvain* ($\rho=1,01$) en 2011	31
Figure 20: Communautés obtenues (6) avec ρ fixe égal à 1 avec la méthode de Louvain* en 2011 en excluant les boucles	32
Figure 21 : Communautés obtenues (9) avec ρ de 0,65 avec la méthode de Louvain* en 2011 en excluant les boucles.....	32
Figure 22: Communautés obtenues (10) avec la méthode de Louvain* (ρ fixe=1) en incluant le Luxembourg pour 2011	33
Figure 23 : Communautés obtenues (9) avec la méthode de Louvain* ($\rho=1$) pour les arrondissements en 1991	34
Figure 24: Communautés obtenues (9) avec la méthode de Louvain* ($\rho=1$) pour les arrondissements en 2001	34
Figure 25: Communautés obtenues (9) avec la méthode de Louvain* ($\rho=1$) pour les arrondissements en 2011	35
Figure 26: Communautés obtenues (12) avec la méthode de Leiden en 2001 (ρ fixe)	36
Figure 27: Communautés obtenues (11) avec la méthode de Leiden en 2011 (ρ fixe)	36
Figure 28: Communautés obtenues (10) avec la méthode de Leiden pour 2001 (résolution=0.87).....	37
Figure 29: Communautés obtenues (10) avec la méthode de Leiden pour 2011 (résolution =0.9).....	37
Figure 30: Méthode de la première navette pour 2001 sur base des flux avec 10 pôles.....	38
Figure 31: Méthode de la première navette pour 2011 sur base des flux avec 10 pôles.....	38
Figure 32: Méthode de la première navette pour 2011 sur base des flux estimés par le modèle gravitaire avec 10 pôles d'emploi	40
Figure 33: Différence entre les résultats de la méthode de Louvain* de 2001 et de 2011 avec résolution fixe	54
Figure 34: Différence entre les résultats de la méthode de Louvain* de 2001 et de 2011 avec nombre fixe de communautés.....	54
Figure 35: Différence entre les résultats de la méthode de Leiden de 2001 et de 2011 avec résolution fixe	55
Figure 36: Différence entre les résultats de la méthode de Leiden de 2001 et de 2011 avec nombre fixe de communautés.....	55

Liste des tableaux

Tableau 1: Evolution modale selon les régions (SPF mobilité, 2019)	9
Tableau 2: Compacité (c) pour les trois différents résultats de la méthode de Louvain*	31
Tableau 3: Information mutuelle normalisée (NMI) entre les différents résultats pour les arrondissements lorsque le p est constant et lorsque le nombre de communauté est fixé à 8	34
Tableau 4: Compacité (c) pour les quatre résultats de la méthode de Leiden sur les 589 communes.....	37
Tableau 5 : Compacité (c) pour les deux résultats de la méthode de la première navette à l'échelle des communes	39
Tableau 6: Indicateur c pour les résultats obtenus par les trois méthodes pour des partitions de 10 communautés.....	41

Annexe

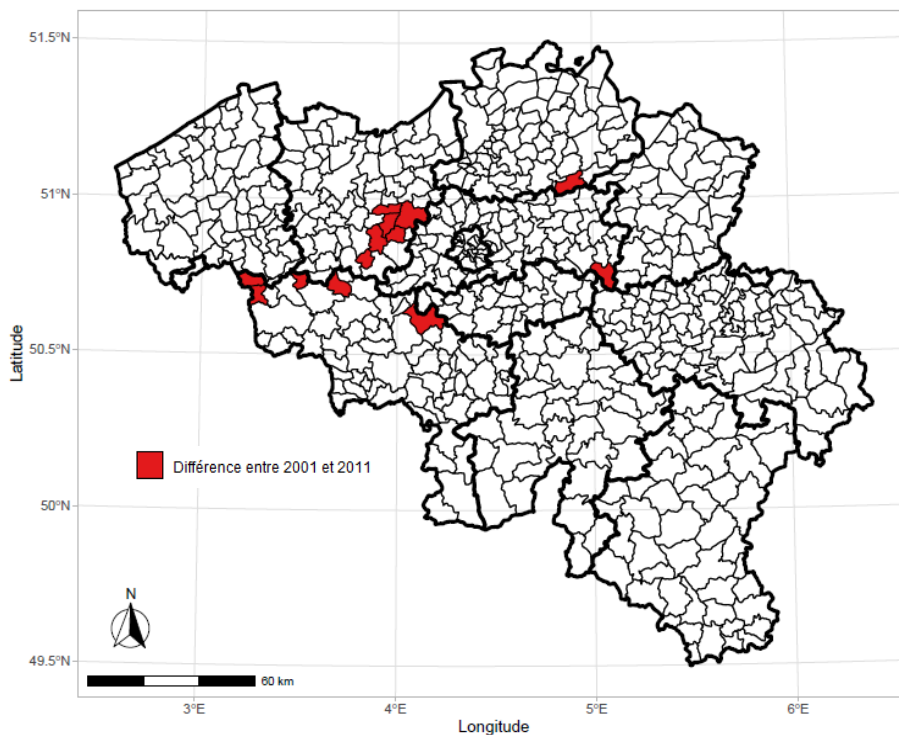


Figure 33: Différence entre les résultats de la méthode de Louvain* de 2001 et de 2011 avec résolution fixe

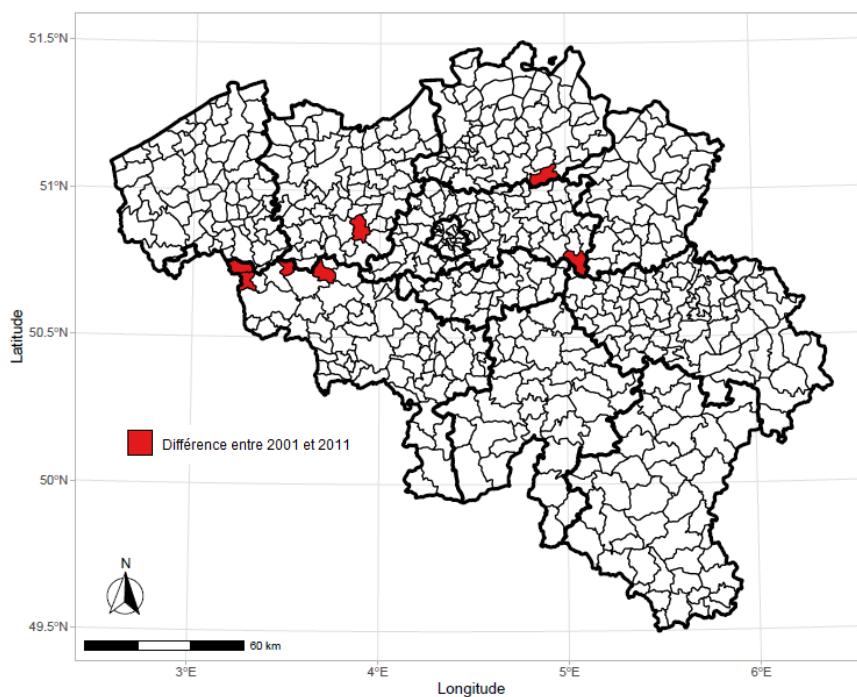


Figure 34: Différence entre les résultats de la méthode de Louvain* de 2001 et de 2011 avec nombre fixe de communautés

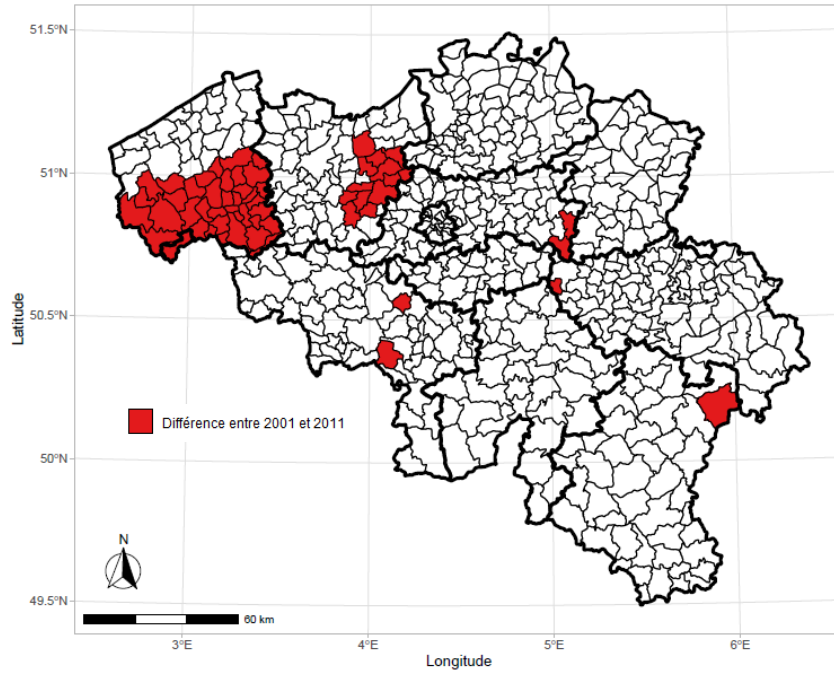


Figure 35: Différence entre les résultats de la méthode de Leiden de 2001 et de 2011 avec résolution fixe

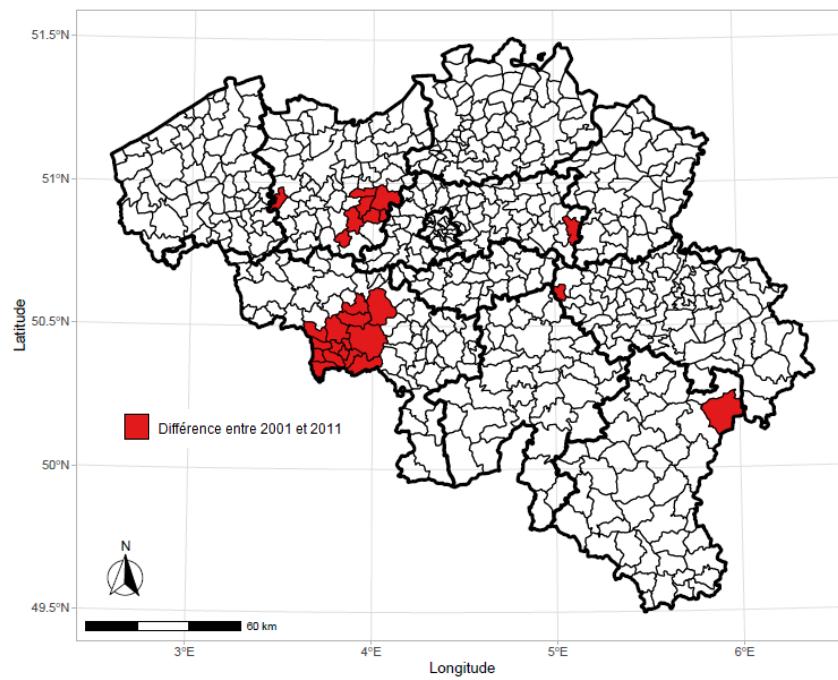


Figure 36: Différence entre les résultats de la méthode de Leiden de 2001 et de 2011 avec nombre fixe de communautés

QUENTIN IGOT

24 février 1997

Rue du Vivier, 9

Sart-Eustache

Quentin.igot@gmail.com

0478/95.81.24

COMPETENCES

SIG (Arcgis, Qgis)

Langages de programmation (R
et python)

Je parle le français (langue
maternelle), l'anglais de niveau
scolaire et le néerlandais
(immersion primaire et
secondaire)

EXPERIENCES PROFESSIONNELLES

JOB ETUDIANT A L'UCCLOUVAIN

But : Analyse de l'évolution de l'habitat de certaines races
de papillons en Belgique sur quelques décennies

Septembre 2020

Stage à l'AMCV, Association du Management de Centre-Ville, à Mons

Août 2020 – Septembre 2020

FORMATIONS

DIPLOME D'ETUDES SECONDAIRES GENERALES

Collège du Sacré-Cœur, Charleroi

Obtention de ce diplôme en juin 2015, en options Latin-
Math

BACHELIER EN SCIENCES GEOGRAPHIQUES

UCLouvain 2016-2019

MASTER EN SCIENCES GEOGRAPHIQUES : GENERAL

UCLouvain 2019 - présent

DIVERS

J'ai été coorganisateur pendant 4 ans (2015-2019) de la
Scout Silver Cup, un événement scout rassemblant un peu
moins de 2000 participants.

UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
Faculté des sciences

Place des sciences, 2 bte L6.06.01, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique | www.uclouvain.be/sc