

Accessibility indicators to places and transports Final Report

Vandenbulcke Grégory

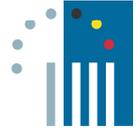
*Promoters : Steenberghen Thérèse (SADL/KULeuven)
and Thomas Isabelle (UCL)*

Research Contracts : AP/10/02A (SPP Politique Scientifique), AP/01/02B (SPP Politique Scientifique), « Accessibility indicators (SPF Mobilité et Transports)

12/2005 – 03/2007

« Comme un organe vivant doté d'un immense et complexe appareil circulatoire, notre planète, au-delà de la spécificité des nombreux espaces géographiques zonaux et azonaux qui la composent, est parcourue par un écheveau extraordinaire dont les fils disparates sont les réseaux de télécommunications, les voies aériennes, maritimes, les routes terrestres, les chemins de fer, les fleuves et canaux ... qui sont autant d'éléments constitutifs de son unité ».

(Marcadon *et al.*, 1997)



Le présent rapport est le résultat d'une recherche effectuée dans le cadre du programme '*Action en soutien aux priorités stratégiques de l'autorité fédérale*' mis en oeuvre et financé par le SPP Politique scientifique, en appui à la politique du SPF Mobilité et Transports, par ailleurs co-financeur du présent projet.

Ce programme est conçu pour répondre rapidement et efficacement aux besoins des départements de l'Autorité fédérale en matière d'actions de recherche ciblées d'une durée déterminée (6 mois à 1 an) et/ou d'actions d'investigation concernant des domaines stratégiques. Il s'agit d'une action "horizontale", elle est ouverte aux projets de recherche au sein des différents thèmes de politique mis en avant dans le cadre des décisions gouvernementales.



Dit onderzoeksrapport kwam tot stand in het kader van het programma ‘**Actie ter ondersteuning van de strategische prioriteiten van de federale overheid**’ in opdracht van de POD Wetenschapsbeleid ter ondersteuning van de FOD Mobiliteit en Vervoer, die daarenboven het project mee gefinancierd heeft.

Dit programma werd in het leven geroepen om snel en efficiënt te kunnen inspelen op de behoeften van de federale overheidsinstellingen inzake gerichte onderzoeksacties van bepaalde duur (6 maanden tot 1 jaar) en/of verkennend onderzoek met betrekking tot strategische gebieden. Het betreft een “horizontale” actie: ze staat open voor de financiering van onderzoeksprojecten binnen de verschillende beleidsthema’s die in het kader van de regeringsbeslissingen naar voren worden geschoven.

Table of contents

PART I : LITERATURE REVIEW	11
1. INTRODUCTION TO THE FIRST PART	12
1.1. Accessibility : a daily practice	12
1.2. Key role of accessibility and transports : introduction and overview on the European and Belgian contexts	13
1.3. Structure and methodology of the first part	17
2. DEFINITION OF THE CONCEPT OF ACCESSIBILITY	19
2.1. Concept of accessibility	19
2.2. Origin and destination accessibility	22
2.3. Access and accessibility	23
2.4. Components of accessibility	24
2.4.2. The land-use component (spatial component)	26
2.4.3. The temporal component	27
2.4.4. The individual component	28
2.5. Relationships between components of accessibility	29
3. REVIEW OF THE SCIENTIFIC LITERATURE	31
3.1. Introduction	31
3.2. The four basic accessibility measures	33
3.2.2. Activity-based accessibility measures	36
3.2.3. Person-based accessibility measures	62
3.2.4. Utility-based accessibility measures	65
3.3. Accessibility measures for freight transport	69
3.3.1. Introduction and components of accessibility for freight transport	69
3.3.2. Adaptation of accessibility measures for freight transport	72
3.4. Conclusions	72
4. THE KEY ROLE OF ACCESSIBILITY AS AN INTERMEDIATE, ECONOMIC AND SOCIAL INDICATOR	75
4.1. Introduction	75
4.2. Accessibility as an intermediate indicator	75

4.3. Economic impacts of accessibility changes	77
4.3.1. The cost-benefit analysis	78
4.3.2. The production function approach	81
4.3.3. Employments effects of infrastructure investments	83
4.4. Social impacts of accessibility changes	84
5. BELGIAN AND EUROPEAN POLITICAL CONTEXTS AS REGARDS ACCESSIBILITY: THE GREAT CONCERNS ABOUT MOBILITY PROBLEMS AND TERRITORIAL EQUITY	88
5.1. Introduction	88
5.2. The European political objectives: the White Paper on transports	88
5.2.1. Introduction to policy guidelines of the Commission's White Paper	89
5.2.2. Principal measures proposed by the White Paper	91
5.2.3. Conclusions	94
5.3. The Belgian political objectives.....	95
5.3.1. General political notes: main issues as regards mobility	95
5.3.2. Main issues approached during the Congress "Rail Meets Road III"	99
5.3.3. Accessibility and mobility as regional priorities in Belgium.....	105
5.3.4. Conclusion on the main political issues approached in Belgium.....	111
5.4. Final selection of accessibility indicators according to the political needs.....	112
PART II : DATA INVENTORY	113
INTRODUCTION	114
1. TRANSPORT DE PASSAGERS.....	114
1.1. Transport ferroviaire.....	114
1.1.1. Transport de voyageurs par train (SNCB).....	114
1.1.2. Transport de voyageurs en tram/méto (STIB)	116
1.2. Transport par route	117
1.2.1. Transport par route, en voiture	117
1.2.2. Transport par route, en bus.....	117
1.3. Transport aérien.....	120
2. TRANSPORT DE MARCHANDISES	120
2.1. Transport de marchandises par voie ferrée (B-Cargo)	120
2.2. Transport de marchandises par route.....	121
2.3. Transport de marchandises par voies navigables	123

2.4.	Transport aérien.....	124
3.	AUTRES DONNEES	125
4.	QUELQUES SITES INTERNET CONSULTES	125
PART III : METHODOLOGY AND RESULTS.....		128
INTRODUCTION		129
1.	ACCESSIBILITE AUX VILLES ET AUX SERVICES.....	130
1.1.	Données utilisées.....	130
1.2.	Méthodologie et différentes étapes du travail.....	130
1.2.1.	Méthodologie	130
1.2.2.	Agrégation des données et calcul du temps de parcours sur réseau routier	131
1.2.3.	Correction du temps de parcours à l'aide d'une fonction d'impédance.....	132
1.2.4.	Calibrage du coefficient α	133
1.2.5.	Construction d'une matrice de temps de parcours : description des traitements	135
1.2.6.	Analyse de l'accessibilité pour des heures creuses	137
1.2.7.	Analyse de l'accessibilité pour des heures de pointe	140
1.3.	Critique des résultats	141
2.	ACCESSIBILITE POTENTIELLE AUX EMPLOIS ET A LA POPULATION....	156
2.1.	Données utilisées.....	156
2.2.	Méthodologie et différentes étapes du travail.....	156
2.2.1.	Méthodologie	156
2.2.2.	Calcul d'un indice de Shimbel	157
2.2.3.	Calcul de l'accessibilité potentielle à la population et aux emplois.....	157
2.2.4.	Analyse des cartes d'accessibilité potentielle à la population et aux emplois ...	161
2.3.	Critique des résultats	162
3.	ACCESSIBILITE AUX AEROPORTS BELGES	170
3.1.	Données utilisées.....	170
3.2.	Méthodologie et différentes étapes du travail.....	170
3.2.1.	Méthodologie	170
3.2.2.	Intégration de la congestion dans les calculs d'accessibilité.....	171
3.2.3.	Quelles sont les possibilités et les moyens pour intégrer la congestion ?	172
3.2.4.	Analyse de l'accessibilité aux cinq aéroports belges	175
3.2.5.	Analyse de la différence de temps de parcours entre la situation de congestion et celle hors-congestion.....	177
3.2.6.	Analyse de l'accessibilité aux aéroports de Zaventem et de Charleroi.....	179

3.2.7.	Analyse de la différence de temps de parcours entre la situation de congestion et celle hors-congestion. Les cas de Zaventem et de Charleroi	181
3.2.8.	Analyse d'une aire de service appliquée à l'aéroport de Zaventem.....	182
3.2.9.	Construction d'aires basées sur une minimisation du temps de pavers les aéroports	183
3.3.	Critique des résultats	185
4.	ACCESSIBILITE AUX GARES BELGES (PASSAGERS)	201
4.1.	Données utilisées	201
4.2.	Méthodologie et différentes étapes du travail.....	201
4.2.1.	Méthodologie	201
4.2.2.	Sélection des gares	202
4.2.3.	Analyse de la distance par route aux gares belges	203
4.2.4.	Analyse du temps de parcours aux gares belges	203
4.2.5.	Analyse de l'accessibilité par route aux gares belges : les cas particuliers des deux provinces du Brabant et de la Région de Bruxelles-Capitale	206
4.2.6.	Différence entre les heures creuses et les heures de pointe.....	210
4.2.7.	Temps généralisé de parcours aux gares belges.....	211
4.3.	Critique des résultats	218
5.	ACCESSIBILITE FERROVIAIRE DES GARES IC : STRUCTURE FONCTIONNELLE DU RESEAU FERROVIAIRE.....	232
5.1.	Données utilisées	232
5.2.	Méthodologie et différentes étapes du travail.....	232
5.2.1.	Méthodologie et construction des matrices OD	232
5.2.2.	Effets de l'exploitation du réseau par la SNCB	233
5.3.	Critique des résultats	238
6.	ACCESSIBILITE AUX SECTEURS STATISTIQUES A FORTES DENSITES D'EMPLOI, A PARTIR DE LA GARE LA PLUS PROCHE.....	242
6.1.	Données utilisées	242
6.2.	Méthodologie et différentes étapes du travail.....	242
6.2.1.	Méthodologie	242
6.2.2.	Définition des secteurs à fortes densités d'emploi et construction de la matrice OD	243
6.2.3.	Analyse des résultats	244
6.2.4.	Analyse comparative entre les provinces	253
6.3.	Critique des résultats	255

7. ACCESSIBILITE DES / AUX STATIONS DE METRO BRUXELLOISES : STRUCTURE FONCTIONNELLE DU RESEAU ET ISODISTANCES.....	268
7.1. Données utilisées.....	268
7.2. Méthodologie et différentes étapes du travail.....	268
7.2.1. Méthodologie : calcul du temps généralisé.....	268
7.2.2. Calcul des différentes composantes de temps et construction de la matrice OD du temps généralisé.....	269
7.2.3. Analyse des effets de l'exploitation du réseau de métro par la STIB.....	271
7.3. Accessibilité aux stations de métro : génération d'isodistances.....	275
7.4. Critique des résultats.....	276
7.4.1. Critique de la méthode des résidus studentisés.....	276
7.4.2. Critique de la méthode des isodistances.....	277
8. ACCESSIBILITE AUX ARRETS DE TRANSPORTS EN COMMUN (STIB, TEC, DE LIJN) : BUFFERS ET ISODISTANCES	282
8.1. Récolte des données.....	282
8.2. Méthodologie et différentes étapes du travail.....	282
8.2.1. Méthodologie : calcul du temps généralisé.....	282
8.2.2. Analyse des résultats.....	283
8.3. Critique des résultats.....	288
9. ACCESSIBILITE MULTIMODALE A LA GARE CENTRALE (TRANSPORTS PUBLICS).....	290
9.1. Données utilisées.....	290
9.2. Méthodologie et différentes étapes du travail.....	290
9.2.1. Méthodologie.....	290
9.2.2. Analyse des résultats.....	292
9.3. Critique des résultats.....	294
10. ESSAI DE SYNTHESE STATISTIQUE BASEE SUR PLUSIEURS VARIABLES D'ACCESSIBILITE.....	298
10.1. Données utilisées.....	298
10.2. Méthodologie et différentes étapes du travail.....	298
10.2.1. Méthodologie.....	298
10.2.2. Analyse des résultats.....	299
10.3. Critique des résultats.....	302
PART IV : CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS.....	307

1. TRANSPORT DE PASSAGERS : CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE MESURES D'ACCESSIBILITE	308
2. TRANSPORT DE MARCHANDISES : RECOMMANDATIONS DE MESURES D'ACCESSIBILITE.....	310
3. DISPONIBILITE DES DONNEES ET PERSPECTIVES	311
4. QUEL INTERET D'UTILISER DES MESURES D'ACCESSIBILITE ?	314
5. CONCLUSION	318
REMERCIEMENTS	319
REFERENCES	320
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (PARTIE I DU RAPPORT).....	321
LITTÉRATURE CITÉE À PARTIR DES PRÉCÉDENTES RÉFÉRENCES (PARTIE I DU RAPPORT).....	325
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (PARTIE III DU RAPPORT).....	333
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (PARTIE IV DU RAPPORT)	334
APPENDICES	335
TABLES AND FIGURES.....	346

Part I: Literature Review

1. Introduction to the first part

1.1. Accessibility : a daily practice

Accessibility is, by experience, a concept to which everyone is submitted every day in his daily trip. Almost every day, we have to move in the space for reaching different destinations from one origin but we are limited in our displacement by a number of constraints. For example, assume that an individual needs to go to Brussels in the morning (for various purposes such as working or shopping) and lives in a rural area located in the city periphery. Doing this travel, the individual will be constrained by the ease with which he will reach the closest transport public service (e.g. bus, train station) or the motorway connecting Brussels. This ease will depend on a large number of factors, such as the quality of the local transportation infrastructure, the dwelling location, or the household characteristics, ... Once reached, the motorway or the public transport service may be more or less constrained by other factors such as the speed travel for motorway (particularly reduced during peak hours) or bus/train delays for public services (e.g. caused by strikes or works on the network). Brussels will be then more or less accessible according to a large number of factors particularly related to the transport infrastructure. In consequence, such a situation illustrates that accessibility is a key element to transport systems and can be considered as a direct expression of mobility in terms of people or freight¹.

In the literature, one location is assumed to be accessible if it is connected to other locations via a link such as a road or a railway (Bruinsma and Rietveld, 1998). However, such a definition is not very informative for transport or urban policies and then most of studies make the distinction between different accessibility levels. So, if congestion is assumed to be excluded in the network, transport systems offering high levels of accessibility are efficient and well-developped, whereas those with a lower level of accessibility are less-developped (Rodrigue *et al.*, 2005). Thus, the **task of the transport infrastructure in the concept of accessibility** is essential as a determinant in the quality of spatial interaction between various locations. In the context of spatial development, the quality of transport system (in terms of capacity, connectivity, or travel speeds) determines the quality of locations relative to other locations. This competitive advantage attributed to certain locations is usually measured as accessibility (Spiekermann and Neubauer, 2002).

More generally, one means by accessibility the ease with which activities (or opportunities) may be reached from a given location by means of a particular transportation system (rail, road, air, maritime, ...) (Morris *et al.*, 1979). Thus, its definition includes transport and land-use components. However, the concept of accessibility is much more extended and has taken recently on a variety of meanings. In various studies, accessibility takes on different definitions according to the aim of the study and implies other components such as temporal and individual ones. For example, the accessibility to a public transport (such as bus service) is not the same for each individual. The needs, abilities and opportunities vary from one individual to another ; it may depend on age, physical disabilities, possession of a car, travel budget, people's income, educational level, ... Moreover, activities are seldom available all the day, thus defining a **time constraint** (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

¹ Note, however, that the term "mobility" is not the same as "accessibility". Indeed, mobility is the propensity of individuals to move in the space, given a limited time budget. It is generally created by the need of individuals to take part in opportunities (or activities) located in different places.

1.2. Key role of accessibility and transports : introduction and overview on the European and Belgian contexts

Currently, accessibility becomes more and more essential in land use and transport decisions, thus having significant economic, social and environmental implications (Geurs and Ritsema van Eck, 2001). In the general context of accessibility, researchers have often related accessibility to economic growth and to welfare of individuals. Indeed, a low level of accessibility to the basic services of the society (administration, culture, or economic services) may be an exclusion criteria. That's why accessibility influences the organisation and the dynamic of regions and, consequently, the location of activities and individuals (Bavoux *et al.*, 2005). Its measure is then a convenient tool for planners and politicians to direct their decisions (Baradaran and Ramjerdi, 2001). For the latter, the accessibility patterns can help them to analyze the potentials of the development of industrial and business park areas as employment centres by focusing on the accessibility to working population. Moreover, companies and employers usually want to know from which location they can reach a large number of consumers and workers, so helping them to analyze where they might locate their businesses and services (Zhu and Liu, 2004). For example, Bruinsma (1994) concludes in a study that the Amsterdam Orbital Motorway is an important location factor for office firms in the Amsterdam agglomeration. Another study driven by Wagtendonck and Rietveld (2000) also concluded that residential construction is significantly related to job accessibility.

As well as many other components, transportation networks play a key role on accessibility and are the physical supports of many economic and transportation activities (Thomas, 2002). The establishment of those networks supports the movement of individuals and goods, stimulates the economic growth, and has a great impact on the environment and on maintaining socially acceptable levels of quality of life (Wolkowitsch, 1992 ; Murray *et al.*, 1998). Thus, the role of the transport infrastructure is to enable interaction between spatially distributed agents, i.e. the mobility of individuals and goods for social, cultural or economic activities (Arnold and Sandraps, 1998 ; Spiekermann and Neubauer, 2002). In many countries or regions, transportation networks are essential for the modern societies in which everyone moves continuously. Their stopping or their disappearance could make fall the economic life in full lethargy (Mérenne, 1995).

In an increasingly internationalised economy, establishment of activities is very dependent on comparative advantages – in terms of accessibility and quality of the environment – supplied by different locations resulting from planning and transport decisions (Marcadon *et al.*, 1997). Consequently, transport networks are considered as one of the main instruments of the tool box of spatial planners, influencing on accessibility to existing facilities (Haggett and Chorley, 1972 ; Brulard and Charlier, 1975 ; Taaffe *et al.*, 1996 ; Peeters *et al.*, 1998 ; Van Deynze, 2001). It has been demonstrated that their configuration (shape of the network and characteristics) has long-run implications for the spatial organization of human activities. Indeed, a grid network causes a dispersed pattern of activities, while a centre of a radial network acts as an attractor (Peeters *et al.*, 1998 ; Thomas, 2002). But the establishment of new communication links can also have relatively weak impacts and, sometimes, opposite effects if it is undertaken in the wrong way or if no jointive decisions are taken in parallel. As a result, the structuring effect induced by the transports is a necessary condition for the development, but not a sufficient condition (Offner, 1993).

In a large number of studies, it is often assumed that an investment in transport infrastructure could benefit to individuals and economic activities, particularly in peripheral areas. But in

addition to investments in transport infrastructure, welfare and economic growth also require other conditions such as positive economic externalities (agglomeration, labour market economies, high quality labour force, ...) and a favourable policy environment within which transport decisions must be taken. On its own, each condition will have little or no impact on economic development. As we can see in figure 1, the three conditions have to be present to ensure an economic growth and an increase in the welfare of individuals (Banister and Berechman, 2001). If they are not present, economic development does not take place and it eventually results in more or less undesirable effects. Indeed, the establishment of a new communication link can have very opposite effects if the political and economical context is favourable or unfavourable (Beaujeu-Garnier, 1995). To achieve economic development in a region, transport investment acts consequently as a complement to other (more important) underlying conditions, such as complementary policy decisions, availability of skilled labour, good-quality locations, or underlying dynamics in the regional economy. Among this set of necessary conditions to involve an economic development, policy-making is the crucial factor in realising economic growth benefits from a transport investment. Indeed, reality is more complex than what it is illustrated in Figure 1 and policy decisions affect directly or indirectly the other two sets of necessary conditions (Banister and Berechman, 2001).

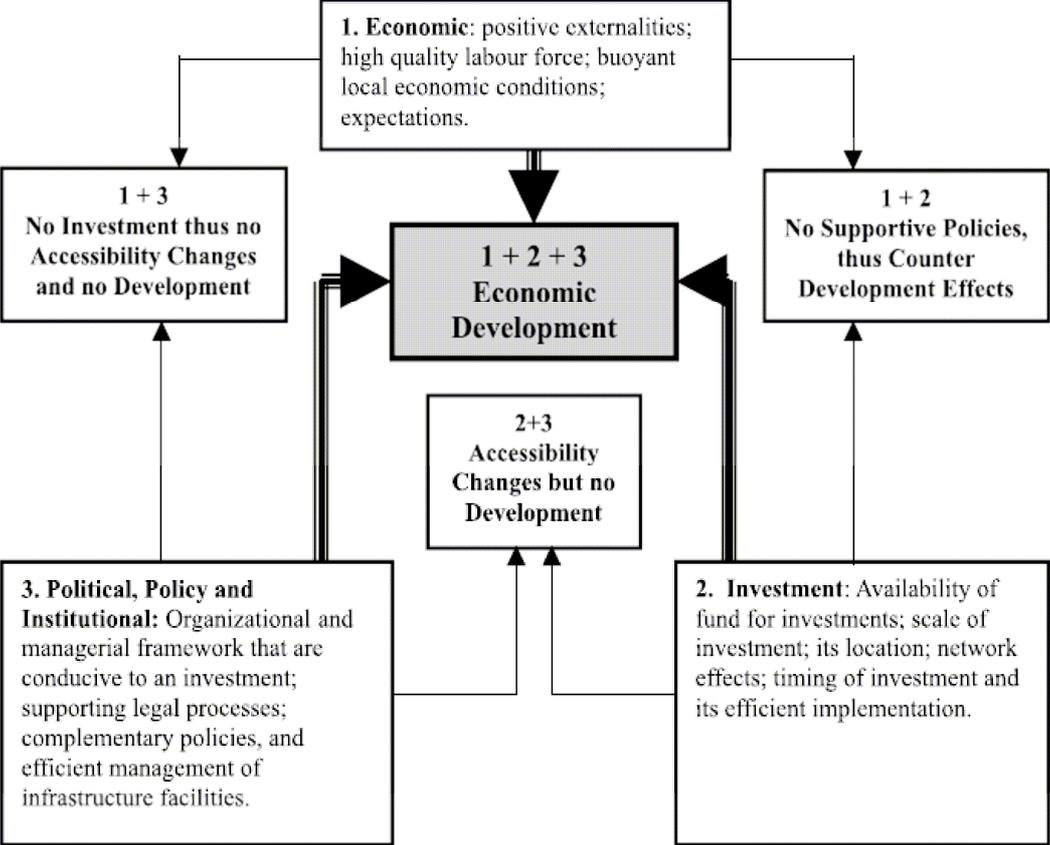


Figure 1: Illustration of the necessary sets of conditions (Source : Banister and Berechman, 2001)

Jointly with positive externalities such as investments or a favourable policy environment, accessibility plays consequently a key role in the majority of decisions taken by the politicians. At the European level, various measures have been established to improve the accessibility of certain regions by means of a better transportation network. Indeed, the accessibility of large agglomerations and infrastructure facilities are factors of attractiveness

and development capabilities of the regions (Lutter *et al.*, 1992). Furthermore, good connections in the international transport system will be a success factor in the distribution of economic activity (Bruinsma and Rietveld, 1993). Particularly, in its second White Book on Transports (2001), the European Union reasserted its motivation to create a long term rebalancing between different transport modes, develop intermodalism, fight road congestion, and also emphasize the interest on safety and quality. It is hoped that the implementation of regulations and the development of a Trans-European Network (construction of new highways and high-speed railroads, ...) will overcome economic and social disparities caused by the peripherality – i.e. low accessibility – of certain areas (Baradaran and Ramjerdi, 2001 ; Spiekermann and Neubauer, 2002). These projects are essential to ensure a sustainable development and to maintain the European Economic Community at an acceptable level of competitiveness.

Compared with other EEC member states, various projects of research have demonstrated previously that Belgium is very accessible and very central in the European transport system (Keeble *et al.*, 1988 ; Spiekermann and Wegener, 1994 ; Gutiérrez and Urbano, 1996 ; Spiekermann and Wegener, 1996 ; Schürmann *et al.*, 1997; Schürmann and Talaat, 2000 ; Baradaran and Ramjerdi, 2001 ; Spiekermann *et al.*, 2002 ; Schürmann and Talaat, 2002). Besides, in their European distribution report (2003), Healey and Baker compared 16 different countries to locate a European Distribution Centre. This comparison was made by means of 13 different location factors, grouped in four categories : the costs, transport systems, accessibility of markets and supply of property. The results showed then that the top five locations were situated in Belgium, France, The Netherlands, Germany and the Czech Republic. More particularly, Belgian and French locations were the more attracting owing to a relative lower cost which accompanies good accessibility and a readily available labour. Another report made by Buck Consultants International (1998) also developed a table in which 26 different regions within Western Europe are ranked with respect to locating a hypothetical European distribution centre. Once again, different criterias of accessibility and centrality were incorporated: distribution costs, personnel costs, warehouse costs, distance to major airports, distance to major seaports, track record, availability of corridors and Trans European Networks (TENs), and availability of multi modal facilities. In the results of this report, it appeared that the Belgian and Dutch Regions, Nord-Pas-de-Calais and Eastern France are excellent locations for establishing a European Distribution Centre.

Concerning Belgium, high accessibility of the country in Europe is one of the most attractive criteria of location for many firms. Indeed, the road and rail infrastructures are very dense and the country has large hubs of freight and passengers such as Zaventem and Antwerp (Witlox, 2002). Consequently, the territory has at one's disposal numerous links of communications (highways, canals, rivers, railway tracks, ...) and terminals (airports, seaports), permitting a greater accessibility to services and firms. Those can then take advantage of a fall in transport costs compared with other locations that have a reduced accessibility. Particularly, because of the high accessibility by road and the high-quality labour force as well as the good accessibility to European markets and the proximity with the port of Antwerp, many firms of transport (logistics, services, ...) have decided to locate in places very accessible such as the province of Limburg or near Antwerp (Witlox, 2002 ; Charlier, 2005). Such locations have the capacity to generate economies of scale in production owing to a reduction in the transport costs (Krugman, 1991). However, this fall in the general level of transport costs consequently increases the relative mobility of products (Haggett *et al.*, 1977) and may cause congestion on certain transport links. Even if it is not yet a problem as prejudicable as in some other european countries, road congestion in Belgium is a well-known problem which is expensive

for the collectivity. Originated from an increase in mobility during the second half of the 20th century², congestion threatens the competitiveness of places and needs solutions such as intermodality or adapted pricing policies (as it was done for the city of Vienna, in Austria³). If nothing is done in the next years, the congestion cost could be equal to 1 % of the GDP in 2010. Furthermore, it could have a major impact on accessibility of the areas concerned with such a problem. For example, in Brussels, accessibility problems due to congestion and difficulties to find a parking space for cars and deliveries are among the most significant factors which have allowed and supported the periurbanisation of services. On the contrary, the increase of accessibility in peripheral areas, both due to the motorisation and to the availability of parking spaces, plays a key role as an attraction factor for the establishment of services (which is done with the detriment of Brussels) (Mérenne-Schoumaker, 2003).

In this context, the use of accessibility indices can be very convenient to reflect such problems and to correct them by means of mobility actions. It is then used in a number of scientific fields such as transport planning, urban planning and geography, and it plays an important role in policy making. To give an example at the Belgian level, several accessibility measures (e.g. speed of bus or tram) can show that road congestion in Brussels is an increasing problem for mobility. Such a situation reduces the quality of life in the city, which doesn't encourage the inhabitants to stay and result in a decrease of population. According to Charlier (2006), congestion problems in Brussels are likely to extend more and more in the immediate future. Indeed, in 2012, traffic jams could reach 30 kilometers on the ring of Brussels, whereas they extended to 20 kilometers in 2002. Then actions must be taken not only in transport planning (e.g. by means of improving and increasing supply in public transports), but also in urban planning (e.g. by according more importance to quality of life than to road infrastructure). In urban areas, main objectives of planners are to maximise accessibility, to minimize travel, to revitalize central cities (such as Brussels), to minimize environmental impacts, and to reduce social inequities (Tolley and Turton, 1995 ; Handy and Niemeier, 1997 ; Polzin, 1999). A non-European example is that of Singapore, where planners play a key role in developing an extensive rapid transit network (the MRT system). Their aim is to provide quality public transport services and to maximise accessibility for commuters to key nodes of employment, housing, leisure and other social activities (Zhu and Liu, 2004).

Consequently, accessibility indices may be of prime importance to help policy makers and planners to influence the urban structure and to resolve phenomena affecting sustainability in a negative sense, such as mobility problems faced in most urbanised and industrialised areas, problems caused by massive urban congestion, rising transportation costs, emerging external costs, or growing freight (Thomas *et al.*, 2003). In Belgium as well as in other countries, one of the ongoing discussions among policy makers, planners and researchers is how to find ways of limiting and reducing the negative effects of traffic without losing its positive effects. Then, means and actions are sought to limit mobility without create repercussions on accessibility (Makrí, 2001). It is in this sense that the concept of "sustainable accessibility" is used in the EU Commission's Report of 1999 on "European Sustainable Cities". For instance, in Belgium, the mobility plan established for Brussels and its region ("Plan Iris") has many stakes such as optimising the utilisation of the present networks, reducing in a perceptible way

² Particularly due to the dispersion of dwellings, the disordered industrialisation, the functional inadequacy of transport networks, and the lack of concern of decision makers (Van Deynze, 2001).

³ In this specific case, only one transportation society, the Wienerlinien, acts in the city. Main advantages offered by this society are the pricing integration and the partnership between the different transportation modes (bus, train, tube). Such a situation has the advantage to reduce mobility problems and to increase demand for public services.

the negative impacts of road transport (air pollution, congestion, accidents, noise), improving the people's quality of life, or even making mobility and development sustainable for the region and its hinterland (Wouters, 2005).

There are many reasons for which it is important to maintain good accessibility by resolving mobility problems and reducing their negative effects. According to Owen (1987), “[m]any factors contribute to economic and social progress, but mobility is especially important because the ingredients of a satisfactory life, from food and health to education and employment, are generally available only if there is adequate means of moving people, goods and ideas”. In other words, mobility plays a key role for the development and depends essentially on the means allowing to move, i.e. it depends on the accessibility to places and to transports. Indeed, higher accessibility means an increased quality of life for the individual (greater freedom to choose activities and greater amount of time to devote to them). And it is even more important for people with limited opportunities (e.g. low income) or physical disabilities (Makrí, 2001). Particularly for firms, it should also be remembered that a high level of accessibility provides a competitive advantage for certain locations, but this benefit is made at the expense of one (or several other) competing location(s). In the public sector, governments are interested in transport links to make regions more accessible. As trade barriers are now reduced in Europe and as new markets are opened up, it is essential for all countries to have high levels of accessibility (Brans *et al.*, 1981 ; Banister and Berechman, 2001). Indeed, a well-developed transport infrastructure becomes a major factor to compete internationally in new global markets and to maintain Belgium as a central location in the European transport system.

1.3. Structure and methodology of the first part

The main purpose of this first part is thus to review various articles on accessibility measures and indices for different modes of transport in Belgium, not only for passengers but also for freight transport. From an original set of measures reviewed in the literature, the methodology of this part consists in applying several “filters” or constraints which restrict our choice to only some quite specific accessibility measures. In particular, such filters are 1) the relevance of the selected accessibility measures to answer the purpose of our study (i.e. the theoretical basis, the operationalisation, the interpretability and the usability of the measures), 2) the political needs, and 3) the availability of data (cf. figure 2). The last chapter of this part will thus aim to present the selected measures according to the filters such as defined here. These are the measures which will be used in the continuation of this report. Based on scientific, economic, political and sociological notes, the first part of this report has consequently the double advantage to adopt a multidisciplinary point of view and to start from a solid and reliable base.

As regards the structure of the report, we will begin by specifying the concept of accessibility and its four components as defined in the literature. In this first step, we will also describe the relationships between those components and we will make the difference between the “origin accessibility” and the “destination accessibility”, and between the concepts of “access” and “accessibility”. In a second step, we will review and regroup the different accessibility measures according to several perspectives (infrastructure-based measures, activity-based measures, person-based measures, and utility-based measures). Furthermore, accessibility measures for freight transport will be also approached. The conclusion of this section will aim

to choose a certain number of measures according to the first filter (relevance of the selected accessibility measures).

The fourth chapter presents the main impacts related to the accessibility changes. Such a chapter does not aim to limit even more the choice of the measures but it is incorporated here in order to illustrate the key role of accessibility as an intermediate, social and economic indicator.

Finally, the last chapter describes the Belgian and European political objectives as regards accessibility. Based on political observations (White Paper on transports, general political notes written by the federal minister for mobility, Congress “Rail Meets Road III”) and strategic plans established by the Regions, the purpose of this chapter is to restrict still more the number of measures selected in the third chapter, according to the political needs as regards accessibility and mobility.

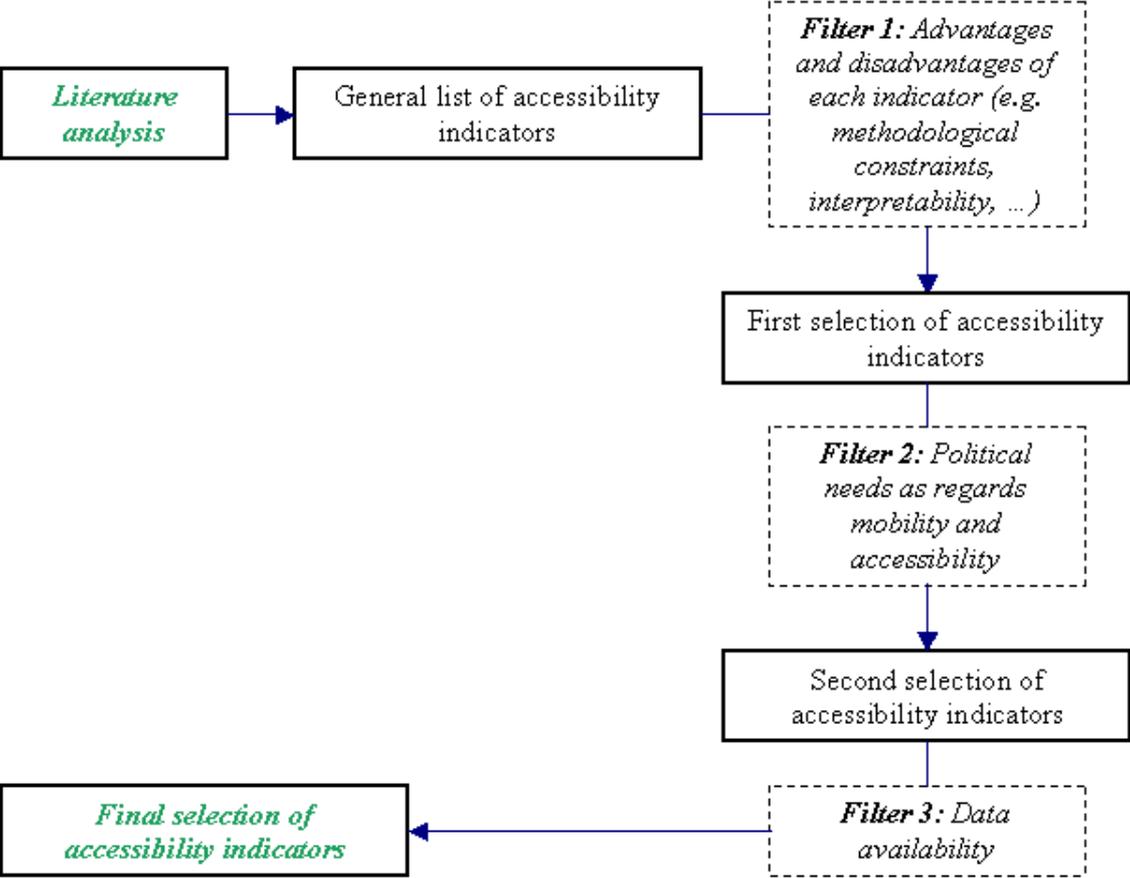


Figure 2: Methodology adopted in the first part as regards the choice of accessibility measures

2. Definition of the concept of accessibility

2.1. Concept of accessibility

Usually defined as the relative “nearness” or “propinquity” of one place i to other places j , the concept of accessibility is a widely used spatial analytic measure (Jiang *et al.*, 1999). Nevertheless, accessibility is often neglected or too much simplified in transport analysis and planning and is generally evaluated on the observed or simulated performance of the transport system. In this context, we talk about infrastructure-based accessibility measures, such as average travel speed on the network or congestion levels. Consequently, policy plans are often established by means of accessibility measures which are easy to understand for researchers and policy makers, resulting in strong methodological disadvantages (Geurs and van Wee, 2004). However, it is also obvious that more complex definitions give place to less easily interpretable measures, which increase the difficulty of interpretation. That’s why we will try to obtain and use measures still relatively easy to understand but with little methodological disadvantages. Such a balance between interpretability and methodological constraints has the advantage not to require a large amount of data (which is not the case for more advanced research which incorporate individual’s spatial-temporal constraints and feedback mechanisms between accessibility, land-use and travel behaviour).

Many definitions are used in the literature but generally, it depends on the purpose of the study. Gould (1969) states consequently that “accessibility ... is a slippery notion ... one of those common terms which everyone uses until faced with the problem of defining and measuring it”. But usually, accessibility is more commonly defined as the ease with which activities can be reached from a certain place and with a certain system of transport (Morris *et al.*, 1979 ; Johnston *et al.*, 2000). In other reviews, accessibility is considered as a combination of two elements : the location on a surface relative to suitable destinations, and the characteristics of the transport network (Vickerman, 1974). A few decades later, Handy and Niemeier (1997) state that accessibility is determined by the spatial distribution of potential destinations, the ease of reaching each destination, as well as the magnitude, quality, and character of the activities found there. In Sweden, it is defined as “the simplicity with which activities in the society can be reached, including needs of citizens, trade and industries and public services” (Swedish National Road Administration, 1998). Another definition is given by Cauvin, in Cybergeog (2005) : “Accessibility is the measurable quantity of spatial distance between the place where one wishes to go and the place where one is, depending on the chosen means of transport. It is the minimal time distance necessary to link together two places thanks to a means of transport, via a given itinerary and taking into account the notion of comfort”. Finally, we can conclude this small overview by an interesting definition formulated by Odoki, Kerali and Santorini (2001) : “Accessibility is a function of the mobility of the individual, of the spatial location of activity opportunities relative to the starting point of the individual, and of the times at which the activities are available”.

As it can be seen above, lots of definitions exist and are **very different according to the aim of the research**. Each of them take into account one or more components which affect accessibility but the concept has been approached hardly ever in a very global way. In the context of this paper, we will be more interested by the definition of Geurs and Ritsema van Eck (2001), used in the investigation dealing with accessibility measures. Indeed, it incorporates various components determining the concept of accessibility and it is very complete compared with those described above. According to them, accessibility reflects “the extent to which the land-use transport system enables (groups of) individuals or goods to

reach activities or destinations by means of a (combination of) transport mode(s)” (Geurs and Ritsema van Eck, 2001). On the one hand, this definition can be applied both to passenger transport (individuals) and to freight transport (goods). On the other hand, it considers that capacity and structure of transport infrastructure are essential in the measure of accessibility. Moreover, it takes into account the distinction between place and individual accessibility. Indeed, certain activities (or destinations) are more accessible than others (e.g. limited capacity, or time restrictions) and that certain individuals can reach an opportunity with more easiness than others (e.g. disabilities of individuals), which implies inequalities. So, Geurs and Ritsema van Eck (2001) identify four interdependent components which determine the concept of accessibility:

- (1) a *transport component*: it describes the transport system, reflecting the disutility of individuals to travel the distance from their origin to destination using a particular transport mode. This disutility is expressed in amount of time, cost or effort.
- (2) a *land-use component*: it considers the magnitude, quality and characteristics of activities found at each destination, as well as their distribution in the space. Examples of activities are jobs, recreational facilities, shops, or homes.
- (3) a *temporal component*: it considers the availability of activities at different times of the day as well as the time restrictions of individuals. The former means for example opening hours of shops, and the latter reflects the times at which individuals participate in certain activities (e.g. work, recreation).
- (4) an *individual component*: it reflects the needs, abilities and opportunities of individuals. By ‘needs of individuals’, Geurs and Ritsema van Eck (2001) mean that people depend on characteristics such as age, income, educational level and home situation. Abilities of individuals are people’s physical state (which depends on physical disabilities, age, ...) and accessibility to transport modes (e.g. possession of a driver’s license and car). Finally, opportunities depend on people’s income, travel budget, educational level, ...

All those components are related to accessibility and interact between them (cf. section 2.5.). Before describing them one by one, it seems relevant to finish this section by emphasizing the key role of accessibility in transport and urban policies and the relationships between the land-use system and the transport system. Such aspects are described in the conceptual model established by Geurs (2000) in his research context based on an integral assessment of the expected ecological, economic and social consequences of land-use transport scenarios. Indeed, in figure 3, we can see that accessibility plays a key role within the land-use transport system and has significant economic, social and environmental implications. In the central part of this conceptual model, the land-use transport system is divided into two interdependent systems: the *land-use system* and the *transport system* (Geurs and Ritsema van Eck, 2001). Indeed, the two systems are interdependent because the ease with which the activities are accessible depends not only on the transport system but also on the land-use patterns (Halden, 2002). This interdependence between the land-use and the transport systems is important to consider and must be realised through their necessary integration to achieve a sustainable development (Bertolini *et al.*, 2005).

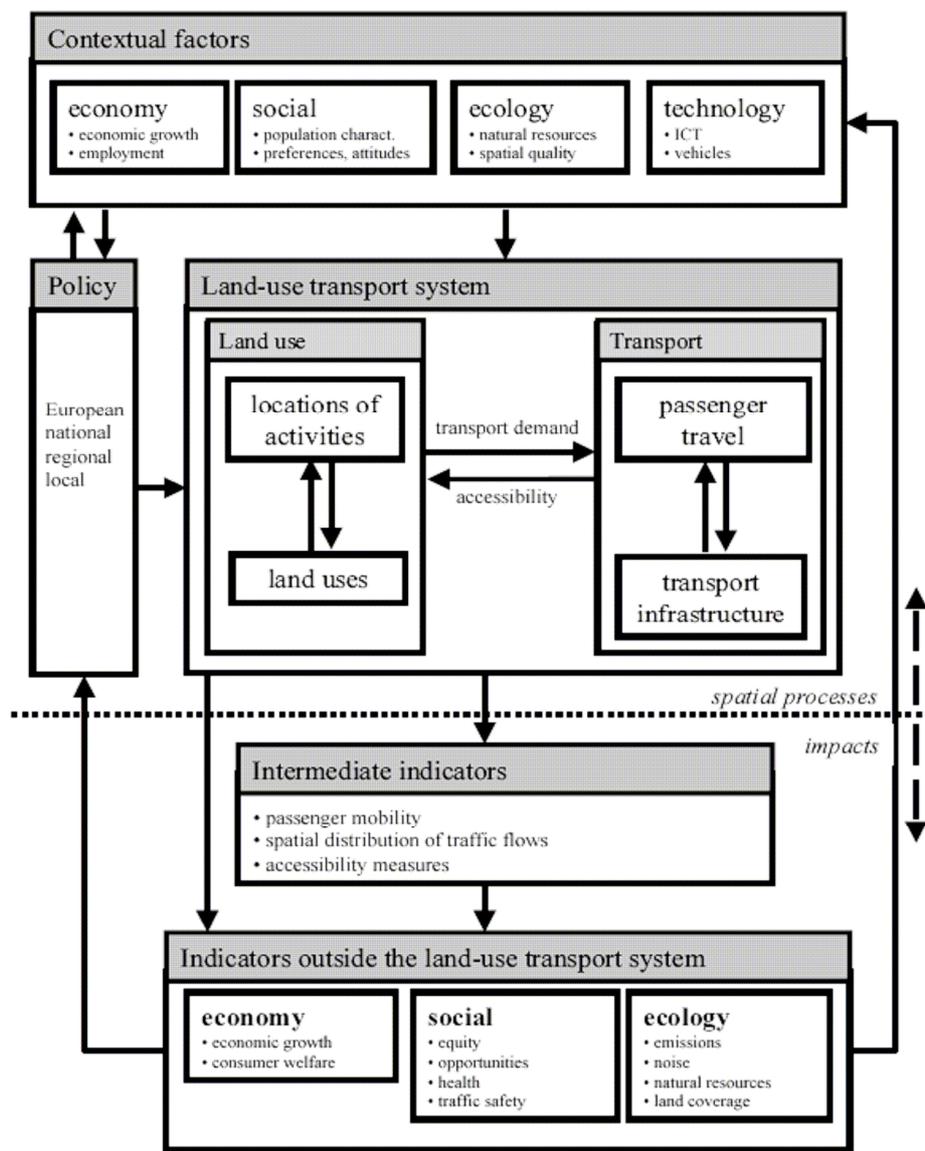


Figure 3: Conceptual model explaining the functioning of the land-use transport system, the role of accessibility and its relationships with the ecological, socio-cultural and economic systems (Source : Geurs, 2000)

The first system, i.e. the land-use system, includes the spatial distribution of land uses (e.g. locations of houses, shops and the characteristics of the land use, such as density, diversity and design) and the locations of human activities (e.g. living, shopping or recreational activities). The two-way interaction indicates that the need for land uses is determined by the locations of human activities, whereas land uses influence the location of those activities. The second system, i.e. the transport system, comprises travel demand (formulated by passengers or for freight transport) and infrastructure supply (physical characteristics of infrastructure (e.g. road capacity, speed limits), characteristics of infrastructure use (e.g. time-table of public transport), and the costs and prices of infrastructures, vehicles and fuels). Once again, there is a two-way interaction between travel demand and infrastructure supply: infrastructure supply determines travel demand and this latter determines the “quantity” of service which should be supplied by the infrastructure. Finally, the land-use system and transport system interact in the following way: on the one hand, the spatial distribution of activities determines the travel demand in the transport system (need for travel and movement of goods) to cover the distance

between the locations of activities, and on the other hand, the accessibility of places determines location decisions of households or enterprises and results in changes within the land-use system.

In addition to the land-use transport system, contextual factors and policy developments influence the functioning and impacts of the land-use transport system. Contextual factors include the characteristics of the economy (e.g. the level of economic growth), the socio-demographic and socio-cultural characteristics of the population (e.g. the age and income of the population, preferences and attitudes), the ecological characteristics (e.g. the quantity of natural resources, the environmental quality of an area), and the level of technology development (e.g. information and communication technology (ICT), vehicle technology). Policy developments are, for example, investments in transport infrastructure or fuel taxes. They influence directly the land-use transport system, and indirectly via the contextual factors.

Land-use transport system, contextual factors and policy developments are described as spatial processes, whose impacts are evaluated by means of indicators. Those can be divided into two groups:

- *Indicators within the land-use transport system* (or intermediate indicators): it includes mobility indicators (such as number of passenger-kilometers by mode), the spatial distribution of traffic flows, and accessibility measures (e.g. infrastructure-based measures). Those latter are the type of indicators that we will use in this report.
- *Indicators outside the land-use transport system*, split up into three categories for measuring: the ecological impacts (e.g. the land-use transport system has impacts on the global, regional and local environment), the social impacts (e.g. the spatial distribution of traffic influences people's exposure to emissions and noise), and the economic impacts (e.g. the accessibility of an area influences its economic activity).

2.2. Origin and destination accessibility

Before describing the different components of accessibility, a caution is required when talking about accessibility. According to Halden (2002), origin and destination accessibility should be treated separately. On the one hand, origin accessibility measures the ease of reaching an activity, i.e. it considers the "accessibility to". For example, origin accessibility measures how easily people living in different locations could reach certain types of activities. In his study, Halden (2002) analysed accessibility to jobs, shopping, education, and healthcare in Edinburgh and the Lothians. In general, he observed that the zones with the best accessibility for car owners are located in Edinburgh and the West Lothian, whereas accessibility is low for East Lothian. For non-car owners, the proximity to Edinburgh becomes a significant factor to have a high level of accessibility to activities.

On the other hand, destination accessibility measures the ease with which a destination can be reached, i.e. it considers the "accessibility of". For example, destination measures can be very useful for a retail chain considering alternative locations for the establishment of a supermarket in terms of catchment population (Halden, 2002). Indeed, the market area will be very large if individuals living in the region have a high level of accessibility (e.g. owing to the availability of a car). For Edinburgh and the Lothians, Halden (2002) observed that accessibility of specific population groups such as unemployed people, deprived people, or elderly people depends strongly on car availability (and eventually, on public transport

services if they are close). In this paper, one will only focus on the first type of accessibility, i.e. origin accessibility, because the aim of the study is restricted to the analysis of accessibility *to* places and *to* transports.

Note that, in addition to their sensitivity to origins and destinations, accessibility measures may be calculated for different types of transport (i.e. passengers or freight transport), modes (i.e. road, rail, inland waterways or air), impedance functions (which can reflect the distance, the travel time, the travel cost, the convenience, the reliability, or the safety), constraints (e.g. road capacity, speed limits, or access restrictions for certain vehicle types), barriers (e.g. political, legal, cultural, economic or linguistic barriers), spatial scales (e.g. continental, transnational, or regional scale), specific groups (e.g. high and low income groups), and dynamics (i.e. accessibility is calculated for different periods in order to show the changes in accessibility due to transport decisions) (Wegener *et al.*, 2000 ; 2002).

2.3. Access and accessibility

As it was made about origin and destination accessibility, another caution must be taken about the distinction between “access” and “accessibility”. Indeed, access can be defined as “the opportunity for system use based upon proximity to the service and its cost” (Murray *et al.*, 1998). In other words, access to a network is uniform wherever one is located in regard to this and as long there is a possibility to enter or to exit (i.e. if there are no physical, economical, political, cultural, or social constraints acting as absolute barriers), while accessibility varies from one place to another within the transport system. For example, as illustrated in figure 4, locations *a*, *b* and *c* all have access to the transport network but location *b* seems to have the best level of accessibility (owing to its more central location in the network) (Rodrigue *et al.*, 2005).

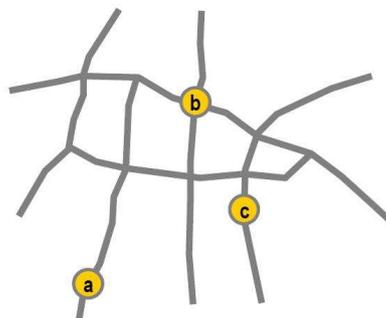


Figure 4: Distinction between access and accessibility
(Source: Rodrigue *et al.*, 2005)

Concerning individuals with disabilities, the distinction between access and accessibility is more complicated. In the literature, little is said about such a distinction but it can be assumed that disabled people can have *access* to the transport network *if* their disability does not prevent them to travel and *if* there is no absolute barrier (e.g. a mountain) obstructing any individual (i.e. disabled or able) to join the network. Thus, in this context, the aim is not to consider how easily a disabled individual can join a transport system but rather to analyse if it is possible or not for him to join it. On the contrary, *accessibility* analyses the ease with which an individual can reach a destination and, generally, values will be lower for disabled people than for individuals without disabilities. As a result, although access can be the same for able and disabled people, accessibility can however strongly differ between individuals.

2.4. Components of accessibility

In this section, we describe with more details the different components of accessibility identified by Geurs and Ritsema van Eck (2001). Those components are those that we have defined above (section 2.1.), i.e. the transport component, the land-use component, the temporal component, and the individual component.

2.4.1. The transport component

The transport component describes the transport system, expressed as the disutility for an individual to travel the distance between an origin and a destination using a particular transport mode. This disutility is the outcome of the confrontation between infrastructure supply (including its location and characteristics such as maximum travel, speed, number of lanes or travel costs) and travel demand (passenger and freight).

The influence of the transport component on accessibility can be reflected by the ease with which one can travel between an origin and a destination location. This ease can be valued by the amount of travel time (e.g. for a car trip, the amount of time will be the sum of the walk time to the parking, the car travel time, the congestion time, ...), travel costs (e.g. again for the car trip, the travel cost will include insurance, fuel, maintenance, ...), and travel 'effort' or convenience (it includes elements as comfort, reliability, accident risks, ...). In transport models, researchers also use the generalised cost function to estimate the level of spatial interaction between origins and destinations. Such a function may take into account various elements such as waiting and transfer times at stations, waiting times at borders and congestion.

Finally, a last remark concerns the fact that the interaction between an origin and a destination declines with the increasing disutility for an individual (expressed in terms of distance, time, and costs). This disutility is very different between the individuals. Their perception and valuation of the distance vary according to transport modes (e.g. car, public transports), purpose of trip (e.g. home-work, non-home work), characteristics of the household (e.g. income, educational level), and characteristics of the destination (i.e. how it is attractive). For example, many people consider that car trips are shorter and public transport trips are longer than they are actually (Halden, 2002). In transport research, several forms of distance decay are used to express the increasing disutility (Geurs and Ritsema van Eck, 2001). Assuming that $F(d_{ij})$ is the **deterrence function**, d_{ij} is the travel impedance (distance, time or cost) between i and j , α and β are parameters reflecting distance impedance (i.e. the sensitivity to travel), and a , b and u are constants, then the different forms of distance decay are the following:

- A negative power or reciprocal function: $F(d_{ij}) = d^{-\alpha}$
- A negative exponential function: $F(d_{ij}) = e^{-\beta d}$
- A modified version of the normal or Gaussian function: $F(d_{ij}) = 100 * e^{-d^2/u}$. This function was used by Ingram (1971) who found that shape of the previous functions doesn't fit to empirical data.
- A modified (log)logistic function (Bewley and Fiebig, 1988): $F(d_{ij}) = 1 + e^{a+b*\ln(d)}$. In the Netherlands, Hilbers and Verroen (1993) found that this function fits correctly to travel data from the Dutch National Travel Survey.

As illustration, the different forms of distance decay are presented in the graph, below (cf. figure 5).

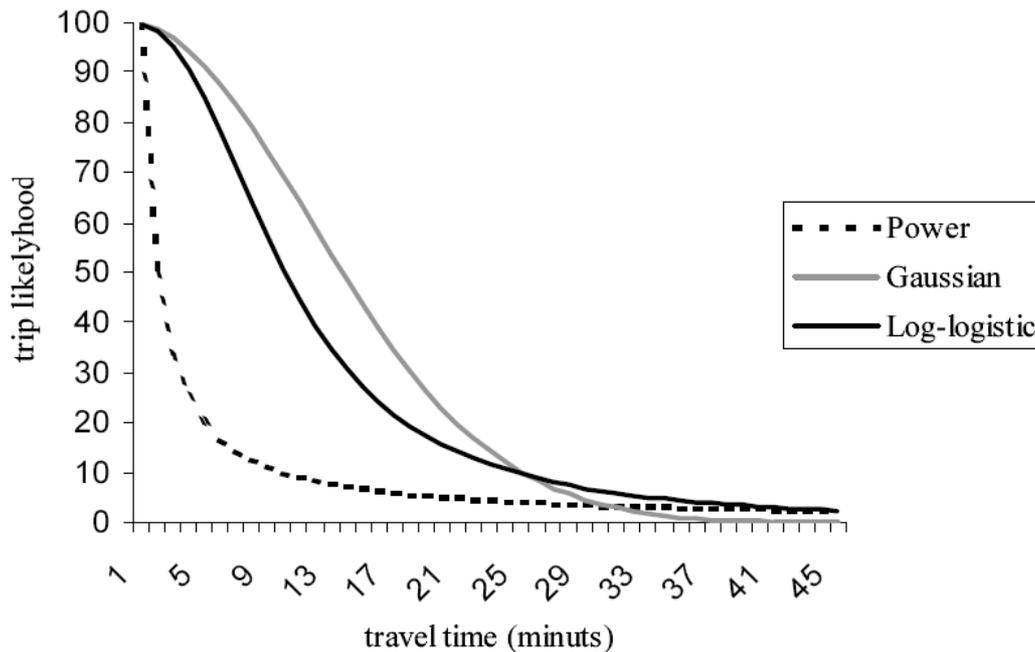


Figure 5: The different forms of distance decay used to express the increasing disutility to travel (Source: Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

The choice of the more appropriate distance decay function to use in an accessibility measure depends on the particular characteristics of the function, as well as the study area and the fit on empirical data. Consequently, relevant aspects in this choice are:

- The steepness of the function: from a behavioural point of view, a very strong decay at short travel distance or times – as figured for negative power and negative exponential functions – does not seem realistic (e.g. for an individual, a 3-minute trip will probably not be very different compared with a 6-minute trip). A conventional logistic function will give a better behavioural explanation of distance decay owing to its S-shaped form. Finally, according to Fotheringham (1982), the power function will be more appropriate for describing the perception of distance at an interurban level whereas the exponential function will be more accurate on an intraurban level.
- The function's point of inflection: a point of inflection halfway of the maximum trip likelihood means that the perception of distance is assumed to be same for short and long travelling distances.
- The value of the trip likelihood at zero distance: the trip likelihood must be to the maximum when the distance is zero.

Concerning the values of the cost sensitivity parameters (α , β , and u) attributed to distance decay functions, they should ideally be generated in the calibration stage of trip generation models based on observed travel behavior in the study area. Another way of estimating those values is to examine the changes in the rate of decline of the impedance function and the point where the function approaches zero (Kwan, 1998). According to Geertman and Ritsema van Eck (1995) and Wyatt (1997), specifying parameters in this way is preferable to an arbitrary

method because impedance functions may fall too rapidly and may produce extreme and, thus, unrealistic accessibility patterns.

Note that impedance functions as defined above are generally used for potential measures. For contour measures, two other impedance functions are used:

- the rectangular function (Wachs and Kumagai, 1973), which gives the same weight to opportunities independent of distance from the origin
- the negative linear function (Black and Conroy, 1977), where opportunities are weighted linearly by the distance from the origin

2.4.2. The land-use component (spatial component)

The land-use component considers the land-use system and is split up into two elements: the spatial distribution of activities and their characteristics (e.g. the location of offices, schools and their attractiveness, capacity, ...), and the spatial distribution of the demand for these activities and their characteristics (e.g. the location of dwellings and their inhabitants). In other words, the land-use component is determined by the confrontation between supply and demand, i.e. between the spatial distribution of supplied activities and the spatial distribution of the demand for these activities. Indeed, the distribution of the supplied activities influences the level of accessibility to these latter. Moreover, the spatial distribution of the demand also influences accessibility, particularly if the activities have capacity limitations (as it is the case for hospital beds, schools, or jobs). Thus, when the capacity of supplied activities is restricted, competition effects result of this interaction between the demand (e.g. inhabitants) and the supply (e.g. job vacancies).

Such a component plays a key role in policy decisions and in urban and transport planning. To illustrate this, we give here an example by describing a study driven by Shen (2005), whose the aim was to analyse the location and accessibility disadvantages of manufactured housing in Pitt County (North Carolina, USA). Indeed, most important public facilities and services (e.g. hospital, health care facilities, fire stations, schools, restaurants, parks, shopping centers, libraries, airport, offices, ...) are located in cities or suburbs, whereas the majority of manufactured homes have been zoned and constructed in rural areas, i.e. out of the city and suburban locations. As observed by Shen (2005), a longer distance – and thus a longer response time – is required for a fire rescue squad to travel from the nearest fire station and a manufactured home, which is critical in terms of damages for the property and the individuals living there. Consequently, he recommended to planners and decision makers to explore ways to increase the accessibility of manufactured homes to public services.

Finally, given that the land-use component refers to spatial distribution of supplied activities and demand, the demarcation of the total area of study must be decided to limit our research on a well-defined region. The choice of this area depends on the aim of the study and should be undertaken carefully (Bruinsma and Rietveld, 1993). Indeed, on the one hand, the demarcation of the research area often coincides with the borders of a country, which results in low accessibility levels near the border (Geurs and Ritsema van Eck, 2001). On the other hand, the choice of a closed research area won't take into account the effects from outside, which can be questionable in an international point of view. For example, regions may have a low accessibility level in a national context whereas their accessibility level is high in an international context. Consequently, the investigated area should include the border regions of

neighbouring countries to guarantee realistic results for accessibility values (Bruinsma and Rietveld, 1998 ; Geurs and Ritsema van Eck, 2001 ; Hilber and Arendt, 2004).

2.4.3. The temporal component

The temporal component reflects temporal constraints such as the availability of activities at different times of the day, and the time available for individuals to participate in specific activities (such as work or leisure). This component originates from the space-time studies developed by Hägerstrand (1970) and Chapin (1974). Indeed, in his research context, Hägerstrand introduced an approach focused on defining the time-space mechanics of constraints (Makrí and Folkesson, 1999). Such an approach, called “constraint-oriented” in certain studies, is based on the fact that individual accessibility has both spatial and temporal components. In other words, it means that locations are not only constrained by the distance between them, but also by the predefined time constraints of the individual (Baradaran and Ramjerdi, 2001).

Now, many studies tend to define a space-time prism in a two-dimensional XY-space. This space-time prism – defined as a Potential Path Space (PPS) by Miller (1999) – delimits all locations in the space and in the time that can be reached by an individual based on constraints such as the locations, the duration of activities as well as the travel velocities of the transport system (Miller, 1999). As illustrated in figure 6, the contained volume of the two cones represents the space-time prism (or PPS). The projection of this PPS on a two-dimensional XY-space represents the Potential Path Area (PPA), corresponding to the potential area in which an individual can move given a time budget (Baradaran and Ramjerdi, 2001).

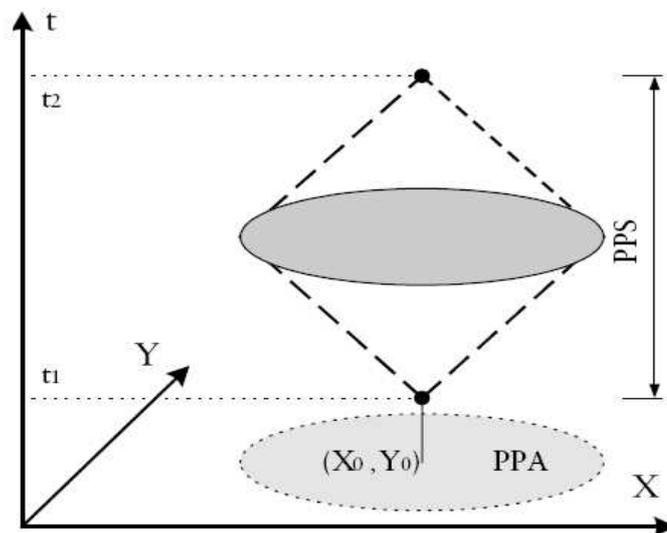


Figure 6: Illustration of the PPS and the PPA (Source : Baradaran and Ramjerdi, 2001)

Another interesting study is that of Lenntorp (1976 ; 1978), who refers to Hägerstrand’s theories when trying to map and determine the physically accessible area of an individual’s environment. He developed a so-called Program Evaluating the Set of Alternative Sample Paths (PESASP) to calculate the number of feasible paths between locations, given the space-time constraints and time budget. Then the number of feasible “paths” represents an

accessibility measure. Modified space-time prisms also have been used to indicate the individual accessibility, given changes in activity schedules, multistop trip chaining, and various travel speeds (Hall, 1983 ; Arentze *et al.*, 1994).

2.4.4. The individual component

This component reflects the characteristics of individuals, which play a key role in the individual accessibility to transport modes and activities. According to psychological studies related to passenger mobility (Vlek and Steg, 1996), these characteristics are the needs, abilities, and opportunities of individuals.

Firstly, people travel for the most part not just for the fun, but in order to fill their needs (Bertolini *et al.*, 2005). Indeed, they have a need for travel and access to spatially distributed activities which differs according to their age, income, educational level, household situation, ... Each section of the population has consequently specific needs and would desire to be involved in defined activities (Halden, 2002). For example, elderly people will require a greater accessibility to hospitals and health care. Secondly, abilities of people refer on people's physical condition (e.g. cognitive, sensory, intellectual or physical disabilities) and on particular skills needed to access a transport mode (e.g. being able to drive a car). For example, people without a driver's licence have to use public transports or non-motorised modes to access to job opportunities, and disabled people require specific services to move between two locations. Thirdly, opportunities of people depend on people's income, travel budget, or educational level. For example, most workers in Asian cities cannot afford to own a private car and they are thus captives of slower or non-motorised modes of transport (bus or walk). On the contrary, workers with higher incomes benefit on a better accessibility to jobs because they can use faster transport modes (Lau and Chiu, 2004). One can easily derive from this example the fact that the concept of accessibility may not be the same for individuals living in a same location at the same time. Indeed, the worker with a car will have the opportunity to travel to his workplace, while the neighbor with no car might find the same location relatively inaccessible (Helling, 1998).

In sociological studies, a new concept called "motility" has also been adopted by several authors (Kaufmann and Jemelin, 2004 ; Montulet, 2006) for expressing the spatial mobility of individuals. Originally used in cellular biology and medicine for evoking the ability of an organism to move, motility is defined as the way with which an individual or a group of individuals is potentially able to move and uses this ability to develop certain projects. It thus includes the main factors defining the ability to move in space, e.g. the need to move or to be sedentary, the physical abilities, the current transport systems and their accessibility, or the acquired knowledge (such as languages, or driving licence). In other words, motility incorporates consequently factors related to accessibility (e.g. conditions in term of prices, or schedules), competences (e.g. acquired knowledge, or the ability to schedule activities), and appropriation (e.g. perceptions, strategies, or practices) (Kaufmann and Jemelin, 2004 ; Montulet, 2006).

In geographical research, more and more studies incorporate the individual component of accessibility into accessibility measures by stratifying the population in various subgroups (according to characteristics such as the age, gender, ethnicity, household situation, or educational level). Indeed, all individuals in one zone don't have the same level of

accessibility and it seems thus more realistic to take into account such a component in accessibility measures (Kwan, 1998 ; Pirie, 1979).

However, a major shortcoming due to the incorporation of this component in an accessibility measure is that it requires a large amount of data, based on interviews and enquiries among the population concerned with the research area.

2.5. Relationships between components of accessibility

All of the components described before are not only related to accessibility, but are also interrelated each other. Figure 7 illustrates the relationships between the four components and accessibility, and between the components themselves (Geurs and Ritsema van Eck, 2001). One can point out that accessibility of a location is the result of the four components. Indeed, the land-use component influences accessibility by determining the availability of activities. The transport component plays a key role in the accessibility because of certain travel time, costs and effort. People’s needs, abilities and opportunities (individual component) also influence the level of individual accessibility. And finally, the temporal component reflects time restrictions of activities and individuals, which influences again the level of accessibility.

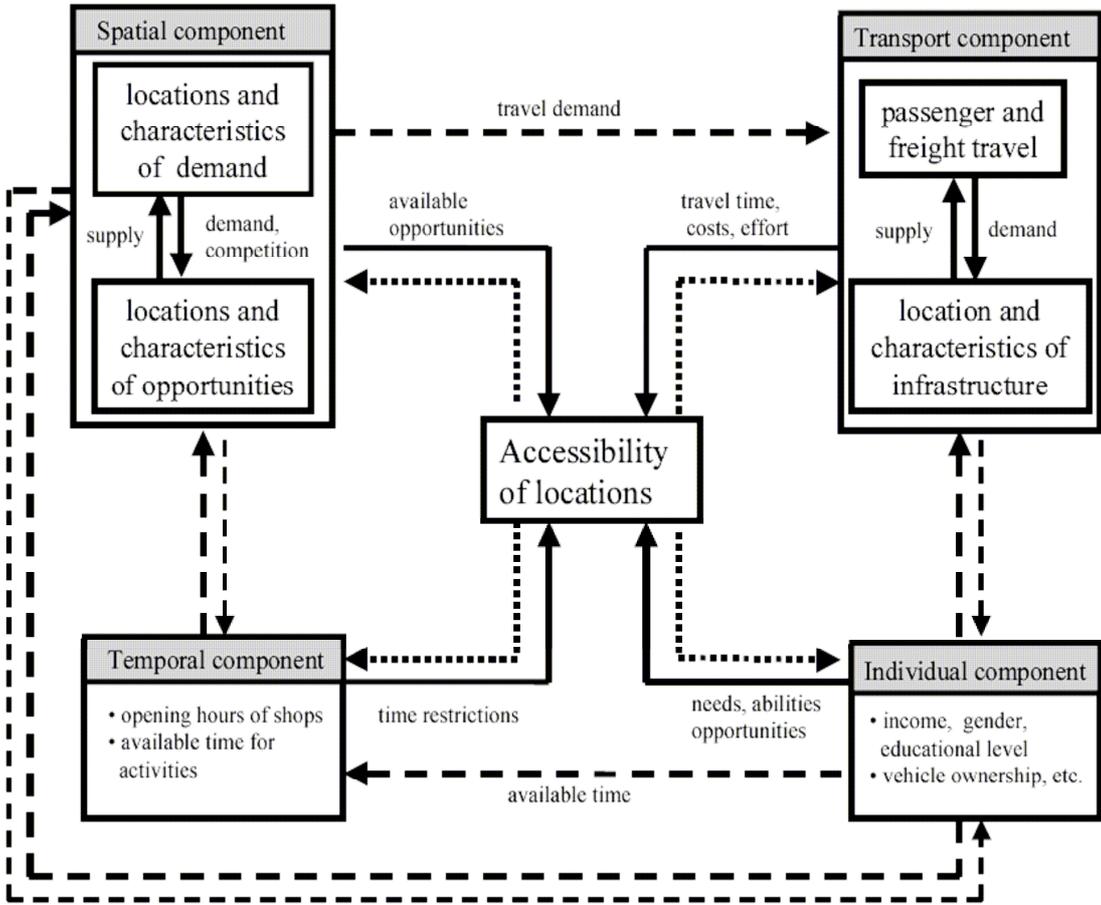


Figure 7: Relationships between components and accessibility, and between the components themselves (Source : Geurs and Ritsema van Eck, 2001)

Inversely, accessibility may also influence these four components through feedback mechanisms. Concerning the relationship with land-use component, accessibility may be a location factor for inhabitants and firms. Accessibility also acts on the transport component by influencing the travel demand. Finally, it has an influence on people's economic and social opportunities (individual component) and on the time required for activities (temporal component).

Furthermore, the components are also related between themselves. Indeed, the land-use component (e.g. the distribution of activities) determines the travel demand (transport component) and may also cause time restrictions because of the time consumption due to the travel (temporal component). Finally, the land-use component may influence people's opportunities (individual component). Concerning the individual component, this interacts with all other components in the following way: people's needs and abilities influence travel demand (transport component), the times in which one engages in specific activities (temporal components), and the demand for activities (land-use component).

3. Review of the scientific literature

3.1. Introduction

Accessibility is not easy to define in quantifiable terms (Gutiérrez, 2001) and there is no best approach to measure it ; different situations and study purposes require different approaches (Gutiérrez and Urbano, 1996 ; Linneker and Spence, 1996 ; Handy and Niemeier, 1997). As a result, the choice of indicator to be used will be critical in producing the spatial pattern of accessibility (Talen and Anselin, 1998). Moreover, the detail and accuracy of the analysis should reflect the needs of a specific situation (Halden, 2002).

Generally, accessibility measures have been used to evaluate the performance of transport networks and access to employment opportunities and other facilities for several socio-economic groups (Kwan, 1998). The measure of accessibility plays a key role in evaluating the competitive advantage of certain locations due to the quality of transport infrastructure. A general definition of accessibility measures is the following : “accessibility indicators describe the location of an area with respect to opportunities, activities or assets existing in other areas and in the area itself, where ‘area’ may be a region, a city or a corridor” (Wegener *et al.*, 2002). Another interesting definition states that “an accessibility measure estimates the level of access to some type of activity from a starting location or home location to one or multiple locations of that activity given a travel mode, distance, time, and cost constraints” (Church and Marston, 2003). According to Gutiérrez and Urbano (1996), most of these indicators attempt thus to express the greater or lesser ease of access to activities or activity centres.

Regardless of the approach, Handy and Niemeier (1997) identified four interrelated issues which must be considered to measure accessibility : (1) the degree and type of disaggregation, (2) the definition of origins and destinations, (3) the measurement of travel impedance (by means of distance, time, or cost), and (4) the measurement of attractiveness of an activity. In particular, disaggregation includes the spatial and socio-economic disaggregations, as well as the disaggregation according to the purpose of the trip or the type of activity/opportunity. Spatial disaggregation considers the scale of analysis, i.e. it corresponds to the grouping of individuals and households by zones. The smaller the zone and the greater the disaggregation⁴. Socio-economic disaggregation considers the differences between the different segments of population and make the measure according to socio-economic factors (e.g. income, gender, or age). The purpose of the trip or the type of activity can be differentiated, for example, between work and non-work activities. Finally, note that attractiveness is often estimated by the number of activities, by their total area or employment, or by their physical or economic size. Other factors such as the quality and price of products can also be incorporated into a measure of attractiveness but it is more subjective (making difficult to specify and calibrate the accessibility measure).

Even if there is no best approach to measure the accessibility, there are several criteria which evaluate the usefulness and limitations of accessibility measures for different applications. According to Geurs and van Wee (2004), these criteria are : (1) the theoretical basis, (2) the operationalisation, (3) the interpretability and communicability, and (4) the usability in social and economic evaluations (also see Morris *et al.*, 1979). First, concerning the theoretical basis, an accessibility measure should take ideally into account all the components described

⁴ Note that the spatial disaggregation is fully accomplished when the accessibility of the households or individuals are measured one by one.

above (cf. section 2.4.). However, in practice, it would be too complex and then, applied accessibility measures include generally a part of these components. Operationalisation corresponds to the ease with which the measure can be used in practice (e.g. in evaluating availability of data, models and techniques, and time and budget). Interpretability and communicability are also important : researchers, planners and policy makers should be able to understand and interpret the measure. Indeed, they need interpretable measures to plan and direct their decisions in the most correct way. Finally, accessibility measures may be used to evaluate the economic and social impacts of land-use and transport changes (e.g. due to investments). Such a criteria is very useful for planners or policy makers who want to evaluate the (future) impact of transport projects (e.g. construction of a new motorway) or urban changes (e.g. establishment of new firms, delocalisations, ...). Geurs and van Wee (2004) emphasize that it should be recognised by the author(s) when one or more of these criteria is missing.

In the reality, it does not exist only one accessibility measure including all criteria. That's why a major methodological challenge when applying such measures in land-use and transport planning is finding the right balance between a measure which is theoretically and empirically sound and one which is sufficiently plain to be usefully employed in plan-making processes. Such a trade-off between those criteria is very important because the participants in plan-making processes have often different specializations and knowledges (Bertolini *et al.*, 2005).

Many authors have tried to categorise accessibility measures in several ways. For example, Handy and Niemeier classified accessibility measures into three categories: isochrone, gravity-based, and utility-based measures. Another more recent classification is made by Baradaran and Ramjerdi (2001), who distinguished five major theoretical approaches for measurement of accessibility indicators: a travel-cost approach, a gravity or opportunities approach, a constraints-based approach, a utility-based surplus approach, and a composite approach. In this paper, we will adopt the classifications made by Geurs and Ritsema van Eck (2001), recently brought up-to-date by Geurs and van Wee (2004). According to them, formulations used in research papers can be divided in four basic perspectives on measuring accessibility :

- (1) *Infrastructure-based accessibility measures* : these measures analyse the observed or simulated performance or service level of transport infrastructure. Typical measures are the level of congestion, the average delays, the total length of roads, or the average speed on the road network. Usually, this type of accessibility measure is used in transport and infrastructure planning.
- (2) *Activity-based accessibility measures* : these measures analyse accessibility at locations on a macro-level, i.e. the range of available activities with respect to their distribution in space and time. It thus describes the level of accessibility to these spatially distributed activities. Common measures are the number of jobs within 30 minutes travel time from origin locations. More realistic (but more complex) measures also include capacity restrictions of supplied activity characteristics to include competition effects (e.g. competition for job vacancies or hospital beds). This type of accessibility measure is often used in urban planning and geographical studies.
- (3) *Person-based accessibility measures* : these measures analyse accessibility at the individual level (i.e. on a micro-level). Examples of these measures are the activities in which an individual can participate at a certain time. As well as in the case of the temporal component, person-based measures are originated from the space-time geography of Hägerstrand (1970). This type of accessibility measure is typically used in time geography.

- (4) *Utility-based accessibility measures* : these measures analyse the economic benefits (e.g. consumer surplus) that individuals derive from access to spatially distributed activities. Utility-based measures are very difficult to interpret and generally refer to complex theories. Such a measure is used in economic studies.

The comparison between the classification established by Geurs & Ritsema van Eck (2001) and the one brought up-to-date by Geurs & van Wee (2004) shows that changes concern only the activity-based accessibility measures. Indeed, this latter is split up into two measures according to the level of scale considered in the research context (accessibility analyse on a macro- or micro-level). Consequently, this leads to person-based accessibility measures (micro-level) and to activity-based accessibility measures (macro-level). Before explaining separately the different accessibility measures, it is necessary to see how relevant each accessibility measure is in comparison with the others. In this purpose, the following table illustrates the components per type of accessibility measure in a matrix (Geurs and Ritsema van Eck, 2001 ; Geurs and van Wee, 2004).

In Table 1, we can easily point out that infrastructure-based measures do not include a land-use component. In other words, it means that this type of measure is not sensitive to changes in the spatial distribution of activities. Another remark concerns the temporal component, which is explicitly handled in person-based measures whereas it is generally not considered in the other perspectives, or treated only implicitly. Furthermore, person-based and utility-based measures generally focus on the individual component, i.e. on a micro-level. On the contrary, activity-based measures analyse accessibility on a macro-level and incorporate spatial constraints in the supply of activities, which is often excluded in the other perspectives (Geurs and Ritsema van Eck, 2001 ; Geurs and van Wee, 2004).

Perspectives on accessibility and components

Measure	Component			
	Transport component	Land-use component	Temporal component	Individual component
Infrastructure-based measures	Travelling speed; vehicle-hours lost in congestion		Peak-hour period; 24-h period	Trip-based stratification, e.g. home-to-work, business
Location-based measures	Travel time and or costs between locations of activities	Amount and spatial distribution of the demand for and/or supply of opportunities	Travel time and costs may differ, e.g. between hours of the day, between days of the week, or seasons	Stratification of the population (e.g. by income, educational level)
Person-based measures	Travel time between locations of activities	Amount and spatial distribution of supplied opportunities	Temporal constraints for activities and time available for activities	Accessibility is analysed at individual level
Utility-based measures	Travel costs between locations of activities	Amount and spatial distribution of supplied opportunities	Travel time and costs may differ, e.g. between hours of the day, between days of the week, or seasons	Utility is derived at the individual or homogeneous population group level

Table 1 : Type of accessibility measures and components (Source : Geurs and van Wee, 2004)

3.2. The four basic accessibility measures

In this section, each of the four basic accessibility measures will be defined for comparing them one by one. We have also reviewed the main advantages and disadvantages based on criterias such as the relative complexity of certain measures, or the availability of datas. More

informations on those accessibility measures are found in Geurs and Ritsema van Eck (2001), and in Geurs and van Wee (2004).

3.2.1. Infrastructure-based accessibility measures

Also called “location-based measures” or “opportunity-based measures” in the literature (see e.g. Geurs and van Wee, 2004 ; Zhu and Liu, 2004), infrastructure-based measures play a key role in transport policies related to accessibility. Indeed, transportation networks are considered as the physical supports of many economic and transportation activities. Their shape and their characteristics have long-run implications for the spatial organization of human activities, as well as they play a key role on accessibility to workplaces, places of residence, location of firms, location of public services, and even the geographical development of the cities (Anderson *et al.*, 1996 ; Dijst and Vidakovic, 1997 ; Peeters *et al.*, 1998 ; Thomas, 2002). Historically, improvements in transport infrastructures have shortened travel times and have reduced transport costs, leading to changes in accessibility. Such improvements in networks are essential for planners and policy makers, particularly because they increase the overall competitiveness of the system and allow for more economies of scale, as well as they are factors of development of the regions and critical factors in the distribution of economic activities (Lutter *et al.*, 1992 ; Bruinsma and Rietveld, 1993 ; Gutiérrez, 2001). In transport policy plans of European countries, improving accessibility is considered to have important impacts on economic development and on deprived or peripheral regions (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

Infrastructure-based measures are generally split up into two main groups (ORATE, 2004) : measures indicating the available supply of transport infrastructure (i.e. indicators of transport supply) and services, and measures indicating the current use of transport networks and services (i.e. indicators of transport demand). Among indicators of transport supply, there is, for example, the total length of the road or railroad network, the density of a network in an area (e.g. railroad kilometres per square kilometre), the number of (air)ports, the capacity of links and terminals, the number of passenger cars, or the number of public transport vehicles by type. On the other hand, indicators of transport demand include, for example, the traffic volume of (air)ports, the traffic on roads by vehicle type, the number of trains and passengers on rail links, the overall congestion level (e.g. in lost vehicle hours), the number of passengers and freight, or the kilometers per person per mode by purpose. As illustration, the figure 8 represents the schematic illustration of the daily average traffic between 6h00 and 22h00, in Belgium.

As a result, these measures analyse the observed or simulated performance or service level of transport infrastructure. Comparative studies of infrastructure between regions or countries often use such simple accessibility measures, particularly by considering the transport infrastructure in a specific area (e.g. the total length of motorways or the number of railway stations) (Geurs and Ritsema van Eck, 2001 ; van Wee *et al.*, 2001).

Conclusions on accessibility resulting from infrastructure-based measures may be very different compared with those obtained for activity-based measures (which include both the transport and the land-use component of accessibility). For example, Geurs and Ritsema van Eck (2001) show that, from the infrastructure-based accessibility measure “level of congestion”, the level of accessibility to jobs in the Netherlands is the lowest in the Randstad Area (western part of the country, where a large amount of employment is concentrated).

However, from an activity-based accessibility measure “number of jobs within 45 minutes travel time by car during the peak period”, the level of accessibility is the highest in the Randstad Area although congestion results to higher travel times. For information, another example is given by Linneker and Spence (1992) for the UK.

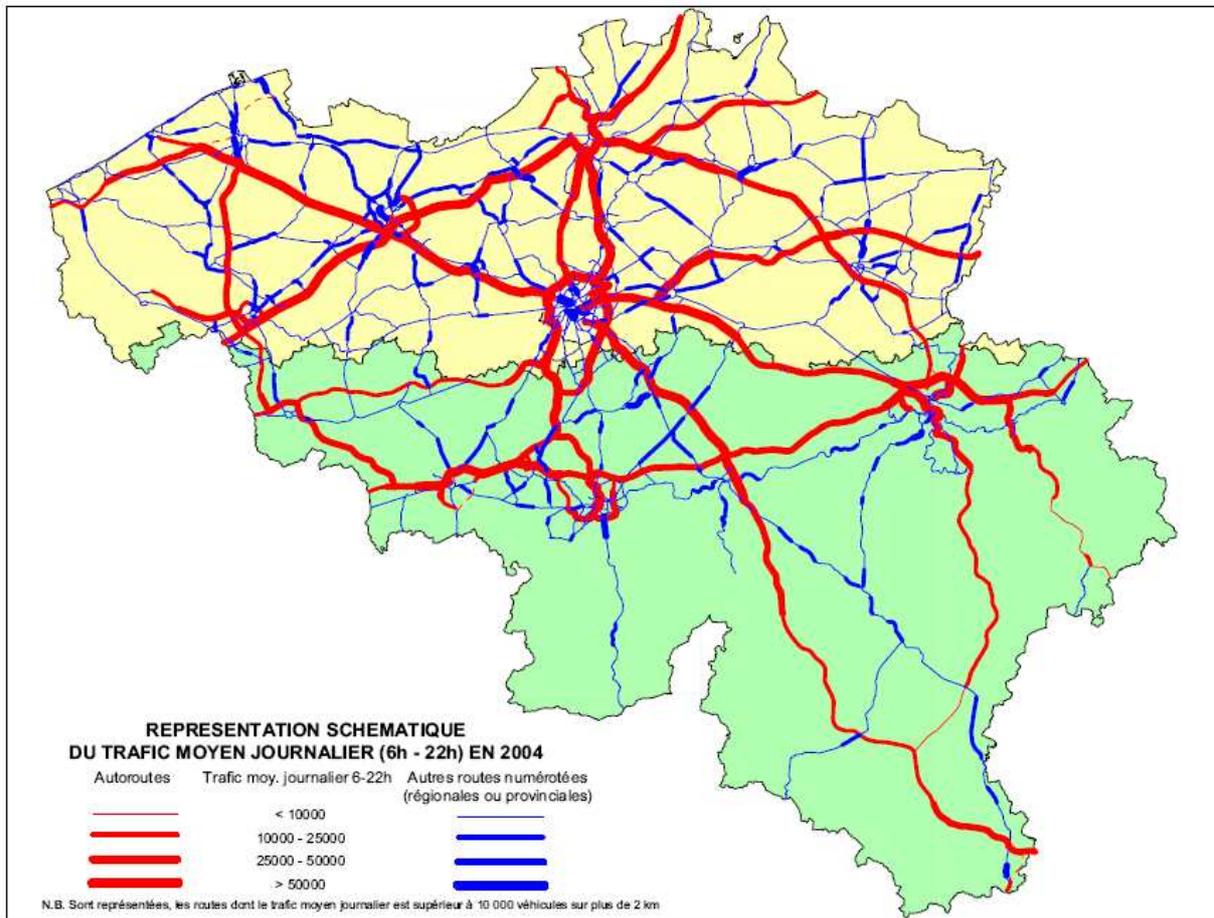


Figure 8: Schematic illustration of the daily average traffic between 6h00 and 22h00, in Belgium
(Source: SPF Mobilité et Transport, Dir. Gén. Mobilité et sécurité routière, 2004)

The advantage of infrastructure-based measures is related to the criteria of operationalisation and interpretability (Geurs and van Wee, 2004). Indeed, they provide consistent and comprehensible information on the service level of transport infrastructure in an area. Moreover, this type of accessibility measure is easy to operationalise : the necessary data are often readily available and measures are easy to understand for planners, policy makers, or researchers. But such measures fail to satisfy most of the theoretical criteria, presenting the disadvantage not to include a land-use component. Indeed, it does not recognise that destinations may lie far away from that area. Moreover, contrary to activity-based measures, effects of improved level of services of infrastructure on land-use patterns are not considered by these measures (e.g. increased vehicle speed tends normally to increase urban sprawl). Another important disadvantage is that such a measure is not very able to treat temporal constraints and individual characteristics, thus affecting strongly the conclusions on accessibility (Geurs and Ritsema van Eck, 2001 ; Geurs and van Wee, 2004).

3.2.2. Activity-based accessibility measures

Activity-based accessibility measures – also called “location-based measures” – analyse accessibility at locations, generally on a macro level. Used in urban and transport planning studies, these measures reflect the level of accessibility to spatially distributed activities. Typical activity-based measures include distance, contour and potential measures, as well as measures based on competition effects (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

- *Simple distance measures*

Distance measures are the simplest accessibility measures, calculating the distance from **one** origin to **one** destination (only two points, or nodes, are implied). A very simple distance measure is, for example, the “relative accessibility”, developed by Ingram (1971). It is defined as the measure of how two particular points of the network are connected, or as the degree to which two places or points on the same surface are connected⁵. For example, simple measures of relative accessibility are the straight line or the shortest path between two points, or also infrastructure-based measures between two locations (e.g. average travel times, average speed). In land-use policies and geographical studies, these measures estimate the maximum travel time or distance to a location or to transport infrastructure (e.g. each inhabitant must be able to reach a hospital within 30 minutes travel time) (Brans *et al.*, 1981 ; Geurs and Ritsema van Eck, 2001). Consequently, the difference with infrastructure-based measures is that simple distance measures take into account both the land-use component and the transport component, while infrastructure-based measures only incorporate this latter.

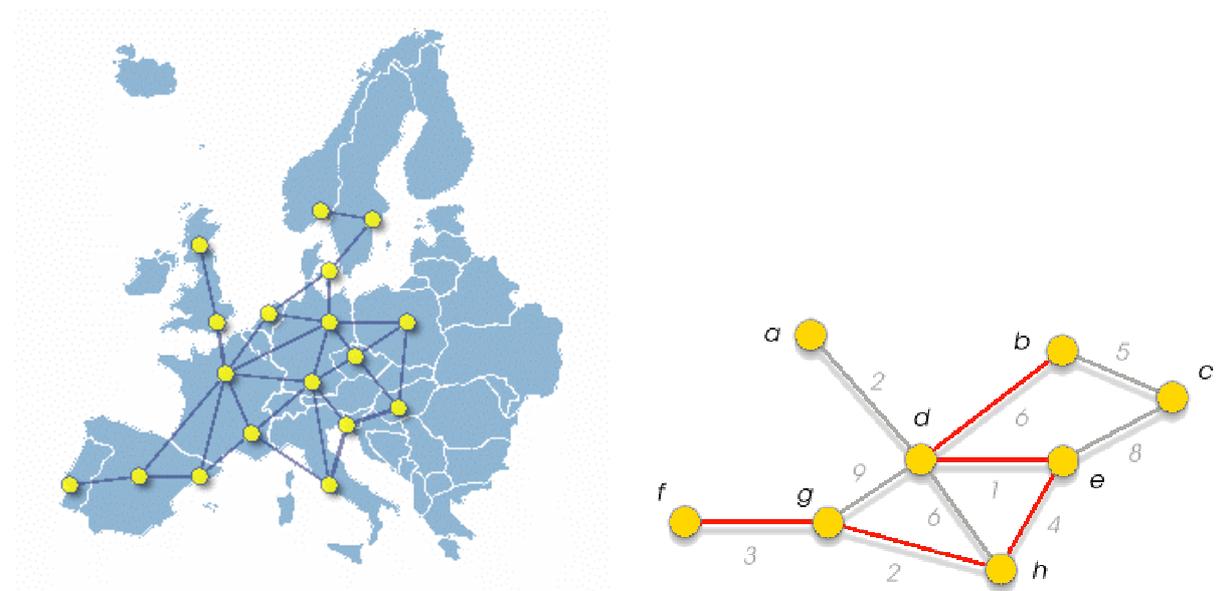
The advantage of distance measures are their simplicity and their ability to combine the location of one activity with the transport system. Consequently, distance measures have advantages related to the interpretability, communicability and operationalisation criteria (Geurs and van Wee, 2004). However, the measure can be used only if we have *one* destination and if it is known. If there is more than one destination, a more complex distance measure or a contour measure will be used to evaluate the accessibility of one place (the origin) to all other places (the destinations) (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

- *Complex distance measures (integral measures)*

Complex distance measures are not really included in the classification on activity-based measures established by Geurs and Ritsema van Eck (2001). Although complex distance measures have many common characteristics with simple distance measures, a distinction is made here between those two measures and is based on the degree of complexity. Simple distance measures analyse accessibility between only two locations (one origin and one destination), while complex distance measures analyse accessibility between several locations (one origin and several destinations). In this paper, note that the term “integral measures” (i.e. the measure of how one location is connected with all other points) will be preferred to “complex distance measures”.

⁵ For more information, Ingram (1971) subdivided the concept of accessibility into relative and integral accessibility. This latter is defined as the “degree of interconnexion with all other points on the same surface” (Ingram, 1971) or, in other words, as the “measure of how a given point is connected to the whole network” (Brans *et al.*, 1981).

In general, integral measures refer to the graphs theory⁶ (see Berge, 1958 ; Kansky, 1963 ; Roy, 1970 ; Kuntzmann, 1972 ; Dancoisne, 1984 ; Dupuy, 1985 ; Chesnais, 1991 ; Auphan, 1992 ; Dupuy and Stransky, 1996). In this context, the transport network is represented in a simple way by a topological graph G which allows to apprehend satisfactorily a part of its characteristics (Taaffe *et al.*, 1996 ; cf. figure 9 as illustration). By definition, a graph is a set (non-empty) of vertices V (or nodes) connected by links called edges E (or arcs). Those latter are generally “valued” (i.e. a specific value is attributed to each arc ; cf. figure 10) or “not-valued” (i.e. there is no attribution of value to the arcs). The graph is said “connex” if it gives the possibility to link the set of nodes with one of them (i.e. every node is accessible from any other node). If each arc has only one travel direction, then the graph is said “directed” or is called “digraph”. Finally, a graph is said “planar” if each crossing of arcs forms a node (Arnold and Sandraps, 1998 ; Colson *et al.*, 1999 ; Johnston *et al.*, 2000 ; Thomas, 2002). In a more realistic perception of graphs, nodes often correspond to highway interchanges, bifurcations, and terminals or extremities of the highway in a network (Dupuy and Stransky, 1996). Alternatively, they can be locations of social and economic activities, such as cities, firms, districts, or households according to the considered geographical scale. Arcs, or links, can represent motorways, regional roads, or small paths (also according to the considered geographical scale). In other studies, they can represent a hydrographic or a rail network (Vandenbulcke, 2005).



Figures 9 and 10: Simplification of the rail network between some major European cities (left) and illustration of the shortest path between the points b and f in a valued graph (Source : <http://gilco.inpg.fr/~rapine/Graphe/>).

Given that cities are reduced to points (or nodes), intraurban segments crossing the urban zones are not taken into account in the construction of the topological graph (Dupuy and Stransky, 1996). On the contrary, if they are considered in the study, then a finer geographical scale (e.g. the street-building level) must be used and, consequently, the relative location and nearness of locations one to another will be more structured in the graph. In this context, the accessibility of streets can be defined by using the theory of “space syntax” (for more informations, see Jiang *et al.*, 1999).

⁶ Note that relative measures also refer to the graphs theory but they imply only two points on the network.

In the graph structure, a weight (or an impedance) is often assigned to each arc, representing the travel cost of an arc (e.g. expressed in time, monetary units, or distance). In the context of traffic models, each arc is characterised by its geographical location, its length, its capacity, its technical features (e.g. the number of traffic lanes, the maximum speed allowed, sinuosity, or slope) and its associated flows (which allows us to analyse if there is congestion or not). On the other hand, nodes are often represented by crossroads or centroids in traffic models. Moreover, they are characterised by their geographical location, their weight (e.g. crossroad capacity), and their technical features (e.g. allowed movements, phasage of the traffic lights, or priorities) (Colson *et al.*, 1999 ; Thomas, 2002 ; Thomas *et al.*, 2003).

Generally, the graph theory gives place to the measurement of several indices characterizing the network. For example, the density is a measure of the level of network development in a given study area, and the connectivity is a concept which makes it possible to estimate the number of links between the nodes of a graph. Other indices are e.g. the degree of circuitry, the degree of heterogeneity, the alpha and the gamma indices, and the connectedness (or connexity) (see Dupuy and Stransky, 1996). In our context, the simplest integral measure used for evaluating accessibility involves network connectivity, which can be measured owing to a direct connectivity matrix C_l . Note that, generally, basic connectivity indicators are applied on the whole network and describes the networks characteristics as well as all potential alternative paths between places provided by the network (Bavoux *et al.*, 2005). Here, the direct connectivity matrix C_l can express the connectivity of each node with its adjacent node. In this matrix, a value of 1 is given if two adjacent nodes are connected, whereas a value of 0 is given when the two adjacent nodes are unconnected. As a result, the sum on each line (or on each row) provides the degree D_l of a node. This basic accessibility measure is then formulated as follows (Rodrigue *et al.*, 2005):

$$D_l = \sum_j^n c_{ij} \quad (1)$$

where D_l is the degree of a node, c_{ij} is the connectivity between node i and j ($c_{ij} = 1$ or 0), and n is the number of nodes. Nodes characterized by a large number of links to other nodes may then be assumed to be more accessible than those having only a few links (Muraco, 1972).

Given that the degree of a node does not account for all possible paths between nodes (i.e. paths between a node and all other (non-adjacent) nodes), another more relevant accessibility measure is developed. So, an indirect connectivity matrix C_k is constructed from C_l as starting point and, finally, a better accessibility measure D_k is obtained for each node by summing on the lines (or on the rows). Its calculation involves the following procedure :

$$D_k = \sum_j^n (c_{ij} \times c_{ij}^{k-1}) \quad (2)$$

where k corresponds to the minimum number of arcs between the two most extreme nodes ($k \neq 1$). A shortcoming related with this method considering direct and indirect paths in the measure is that it does not consider the shortest paths between the nodes. To overcome this problem, the *Shimbel index* (1953) has been developed for calculating the sum of the minimum distance to connect one node with all the other nodes included in the network (Arnold and Sandraps, 1998 ; Rodrigue *et al.*, 2005):

$$A_i = \sum_{j=1}^n d_{ij} \quad (3)$$

where A_i is the Shimbel index and d_{ij} is the minimum distance (expressed in kilometres or in time) between i and j . Such an index measures the relative position of each node in the transportation network, providing consequently a simple measure of the nodal accessibility in this network. High values correspond to low levels of accessibility, while small values represent high levels of accessibility (Arnold and Sandraps, 1998).

Two methods exist for obtaining the Shimbel index (Rodrigue *et al.*, 2005). The first method uses a Shimbel accessibility matrix, also called “D-matrix”. Such a matrix is obtained from a connectivity matrix, which assigns a value of 1 for two connected adjacent nodes. If two nodes are not adjacent (i.e. not directly linked), or if there is no need to travel because the origin is also the destination (e.g. from point A to point A), then a value of 0 is assigned. A new matrix is obtained by the cross-summation between two connectivity matrices, where cells in the columns of one connectivity matrix are added with cells in the rows of the other. Such a procedure is made k times between the new matrix obtained from the cross-summation and the original connectivity matrix. Finally, the “D-matrix” is obtained and the summation of rows or columns correspond to the Shimbel distance for each node.

In a more realistic way, the second method does not assign a binary value to node pairs, but accounts for variable distances between two nodes connected by a topological link. Such a method is the most used in geographical studies. In this case, a specific value is attributed to each link in the network (e.g. the travel time based on speed limits) and the final matrix is obtained in the same way as the D-matrix (what differs here is that we are not working with the minimum number of paths, but with the minimal distance). Consequently, the matrix obtained after calculations – also called the “L-matrix” – gives the minimal distance between each node of the network instead of showing the minimal path between them (as it is the case for the D-matrix).

In the literature, interesting examples of integral measures can be derived from Dupuy and Stransky (1996) and Arnold and Sandraps (1998). In particular, Dupuy and Stransky (1996) measure the sum of the shortest path by highway between a given node (or origin) and all the other nodes of the European road network. In their study driven on the railway network and accessibility in Wallonia, Arnold and Sandraps (1998) evaluate the accessibility impacts due to the spatial structure and those induced by the functional structure. In a first step, accessibility was calculated in terms of distances (expressed in kilometres) travelled on the network between two nodes, which gives us the nodal accessibility of each station considered. After, another accessibility measure is established in terms of Euclidean distances and a comparison with the previous accessibility measure (calculated in terms of distance) allows us to show the impact of the network geometry on nodal accessibility. Such a comparison is made by means of a regression analysis, where positive residues correspond to relative accessibility losses (and conversely for negative residues). In a second step, railway accessibility was measured in terms of time spent to travel between two nodes (the term used in the paper is “time-distance”), which gives us a temporal (or functional) accessibility index for each station. In a last step, the structural and the functional accessibility indices are again compared by means of a regression analysis to observe if the exploitation of the network by the SNCB compensates (or accentuates) the spatial disparities (or inequalities) induced by the geometrical structure of the Walloon network. Thus, positive residues correspond to relative accessibility losses (i.e. the railway service penalizes certain nodes compared to their position

within the network), and negative residues show accessibility gains. Several maps are obtained in this study but the main result emphasized by the authors is that the global structure of the network produces strong spatial disparities since the railway stations included in the Walloon dorsal axis are more favoured than the others (Arnold and Sandraps, 1998).

A few years later, another study driven by Van Deynze (2001) focused on the railway network, but it was extended to Belgium. In her study, the author undertook to evaluate the accessibility impacts due to the structural and functional structures, as well as the temporal changes in nodal accessibility, for each station and according to the three plannings established by the SNCB in 1984, 1992 and 2000. The method employed here to measure accessibility was the same that what was used by Arnold and Sandraps (1998) in their paper (regression analysis). It would be very exhaustive to mention all results obtained by Van Deynze (2001). In short, the author emphasizes the negative impact on nodal accessibility (i.e. on main Belgian cities) induced by the structure of the network, as well as the key role played by the functional exploitation of the network in the reduction of disparities between stations. Note that a better hierarchisation of stations (in terms of temporal accessibility) and a decentralisation of the railway network were also advised by the author to increase the accessibility of peripheral stations and avoid saturation on the Brussels-North/Brussels-South junction (Van Deynze, 2001).

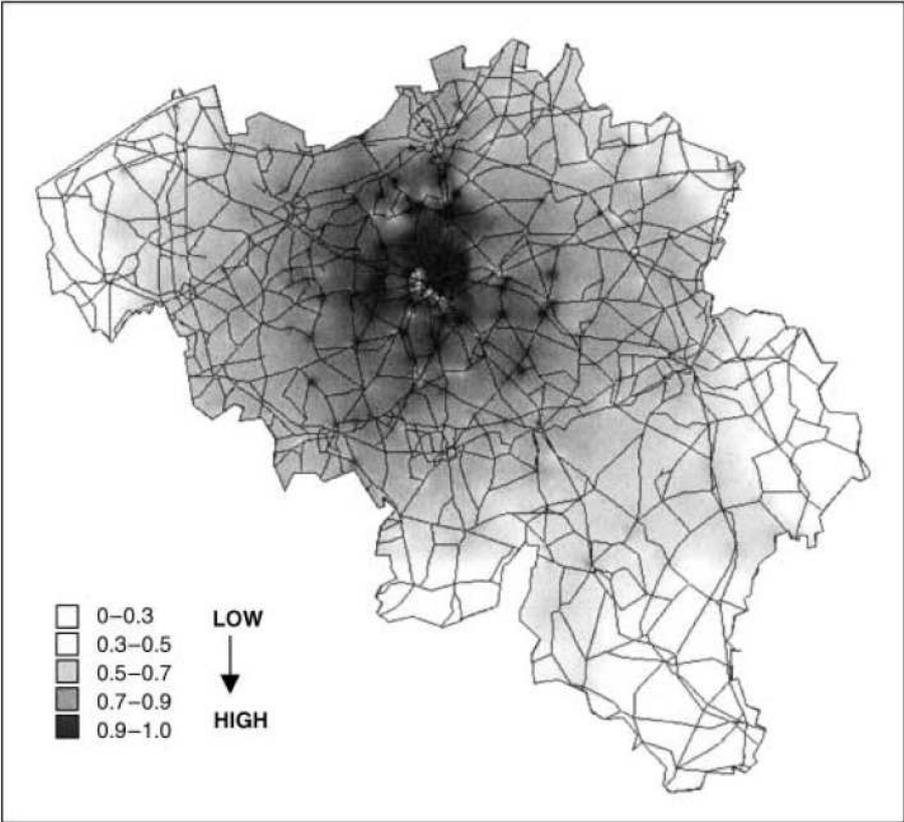


Figure 11: Topological accessibility by road for freight transport
(Source: Thomas *et al.*, 2003)

More recently, Thomas *et al.* (2003) used integral measures (called “topological accessibility” in their paper) and expressed them in terms of distance in kilometres and transportation costs⁷. Whatever the impedance used, topological accessibility indices show for the Belgian road network that the region between Brussels and Antwerp is the most accessible, while the southern part of the country is the least accessible (cf. figure 11). Such an accessibility pattern is mainly due to the history of the country, but also to border effects that were not accounted for. Concerning the railway network, results show that Brussels is the most accessible and has consequently a first-order central function (because of a network characterised by a polycentric structure and a high level of infrastructure density close to the population demography). Finally, indices evaluated for waterways illustrate that Flanders and the Antwerp-Brussels axis are the most accessible regions.

The advantages and disadvantages characterising complex distance measures are relatively similar to those observed for simple distance measures. As a result, the main strength of integral measures is that it is easy to compute and understand, and data can be readily available. However, competition is not taken into account and all nodes are considered as equally desirable.

- ***Contour measures***

Often used in urban planning and geographical studies (see for example Wachs and Kumagai, 1973 ; Vickerman, 1974), contour measures can be considered as an extension of integral measures, indicating the number or proportion of opportunities (or destinations) reachable within a given travel time (or distance, or cost) from an origin (Sherman *et al.*, 1974 ; Oberg, 1976 ; Breheny, 1978 ; Black *et al.*, 1982 ; Hanson and Schwab, 1987). An example could be the number of jobs that can be reached from a certain location within 45 min by car (van Wee *et al.*, 2001).

Also called “isochrone/isodistance measure”, “cumulative-opportunity measures”, “daily accessibility”, “proximity count”, or “container measure”, the contour measure shows that accessibility increases if more activities can be reached within the given travel time or distance (which can be the result of a change in the ease of reaching destinations or in the land-use pattern, e.g. a shortening in the travel time due to infrastructure improvements or an increase in the number of destinations within reach). According to Breheny (1978), there are three types of contour measures :

- the “fixed costs” measure, estimating the number of activities accessible within a fixed cost limit
- the “fixed activities” measure, estimating the average or total time/cost required to reach a fixed number of activities
- the “fixed population” measure, estimating the average (over the population) of the number of activities available within various fixed travel costs.

Formally, contour measures are generally defined as follows: $A_i = \sum_{j=1}^n D_j . F(c_{ij})$, where A_i is a measure of accessibility at zone i to all opportunities (or activities) D at zone j , and $F(c_{ij})$ is the impedance function between i and j . As said before, $F(c_{ij})$ can be (Kwan, 1998):

⁷ Note that other accessibility measures, such as potential measures, were used in the study but we talk about this later in the report.

- either a rectangular function: $F(c_{ij}) = \begin{cases} 1 & \text{for } c_{ij} \leq C \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$ (C is e.g. the fixed cost limit)
- or a negative linear function: $F(c_{ij}) = \begin{cases} (1-t/T) & \text{for } c_{ij} \leq C \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$

Applications of such measures are used in studies modelling accessibility as cumulative functions of activities that could be reached within a given time or cost. Recent research uses contour measures by focusing on analyses of accessibility to jobs, population, retail services, public services, health services, education or recreational facilities. For example, Bertolini *et al.* (2005) have mapped isochrones for various transport modes and conditions in the Netherlands (car, car with congestion, public transport), representing consequently all the points reachable within a 30 minutes travel time from two predefined urban nodes (The Hague Central Station and Rotterdam Central Station). To define the position of each city in the European highway network, Dupuy and Stransky (1996) also calculated the accessibility within 8 hours to the main European cities. In Belgium, Brans *et al.* (1981) have obtained for the road network maps with isochronal and isodistance lines organised in a circular structure (with more indentations in the first case than in the second ; cf. figure 12). Each of these lines indicates the time or the distance required to travel from one place to another (and thus, all the points with the same level of accessibility). Such results provide quantitative instruments for decision makers or planners and appreciate how some areas are advantaged or not by the local or the global road network. Moreover, they show how much a new road will improve the accessibility to the Belgian network (Brans *et al.*, 1981).

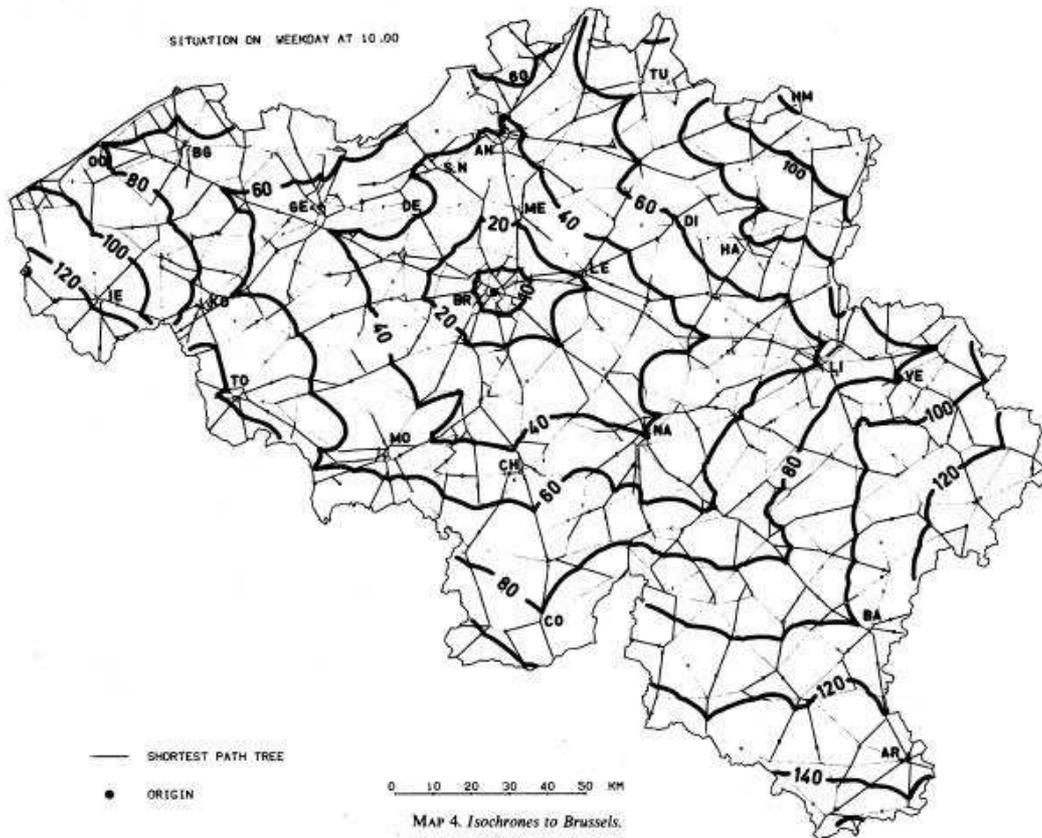


Figure 12: Isochrones to Brussels (Source: Brans *et al.*, 1981).

Gutiérrez *et al.* (1996) and Gutiérrez and Urbano (1996) estimated average travel time by road and rail from about 4000 nodes (included in a multimodal European transport network) to 94 agglomerations with a population of more than 300.000. Note that road travel times are the sum of road and car-ferry travel times and that they are modified by a specific coefficient (reflecting the type of the road) and a penalty for crossing congested population centres (see later for more informations).

Other studies represent variations on the concept of “daily accessibility” (Geurs and Ritsema van Eck, 2001). Derived from the example of the business traveller who wishes to travel to its workplace and to be back home in the evening (Törnqvist, 1970), such a measure considers a fixed budget for the travel between an origin and the destination of interest (Spiekermann and Neubauer, 2002 ; ORATE, 2004). The indicator is expressed in inhabitants reachable from a city by a return trip during a work day with four hours minimum stay using the fastest mode (outbound accessibility) or in inhabitants that can reach a city by a return trip (inbound accessibility) (ORATE, 2004). In the rail transport, empirical evidences using the concept of daily accessibility show that new high-speed lines increase not only the number of travellers served by the line, but also the proportion of those who return within the same day. For instance, Bonnafous (1987) studied the regional impact of the TGV high speed rail line between Paris and Lyon, and he observed a drop in the number of overnight stays in hotels since more day-return journeys are made possible by high-speed trains. On the contrary, he also observed a traffic growth for the train and the development of tourist packages using the TGV (which is illustrated by the saturation of small towns like Beaune and Montbard). In the context of the high-speed railway Madrid-Barcelona-French border, Gutiérrez (2001) used a daily accessibility indicator to measure how much population can be reached from a place within a predefined time and the changes in accessible population due to an infrastructure improvement. The study concluded that the benefits of the new line are very concentrated and that the average accessible population within the 4 hours limit for the selected urban agglomerations increases from 20,7 to 21,1 million inhabitants (i.e. + 1,64 %).

In a study driven for DG Regio, Lutter *et al.* (1992 ; 1993) calculated a daily accessibility indicator as the number of people reachable in a limit of three hours, using the fastest mode (road, rail, or air). Moreover, they also measured the accessibility of NUTS-3 regions in the European Community as average travel times to 194 economic centres by intermodal transport. Another European study using contour measures is that driven by Chatelus and Ulied (1995). In particular, they developed an accessibility measure for the evaluation of the Trans-European Networks at the level of NUTS-2 regions. Called the “FreR(M) indicator”, this accessibility measure calculates the average cost to reach by lorry a market area of a certain population size. The CON(T) indicator, used to assess the transport infrastructure scenarios with respect to several criteria (competitiveness, cohesion, and sustainability), evaluates the population reachable within a maximum travel time of three hours by intermodal transport (at the level of NUTS-2 regions). Finally, FreR(T) is a freight accessibility indicator analysing the size of the market (in terms of population) reachable in a certain travel time (one, two, or three days), using the fastest mode.

Schürmann *et al.* (1997) also calculated for European regions the daily accessibility by rail to population and GDP (cf. figure 13 as illustration). The results showed that the highest accessibility values are found in France, southern England, Belgium, Germany, Switzerland, Austria, northern Italy, and the Netherlands. Moreover, a sharp decline (more pronounced for GDP as destination activity) is observed from these high-accessibility regions towards the Nordic countries, eastern and southern Europe, southern Italy, the Iberian Peninsula and

Ireland. Some disparities in local accessibility also appear and the differences in accessibility can be very large between city centres and their hinterlands.

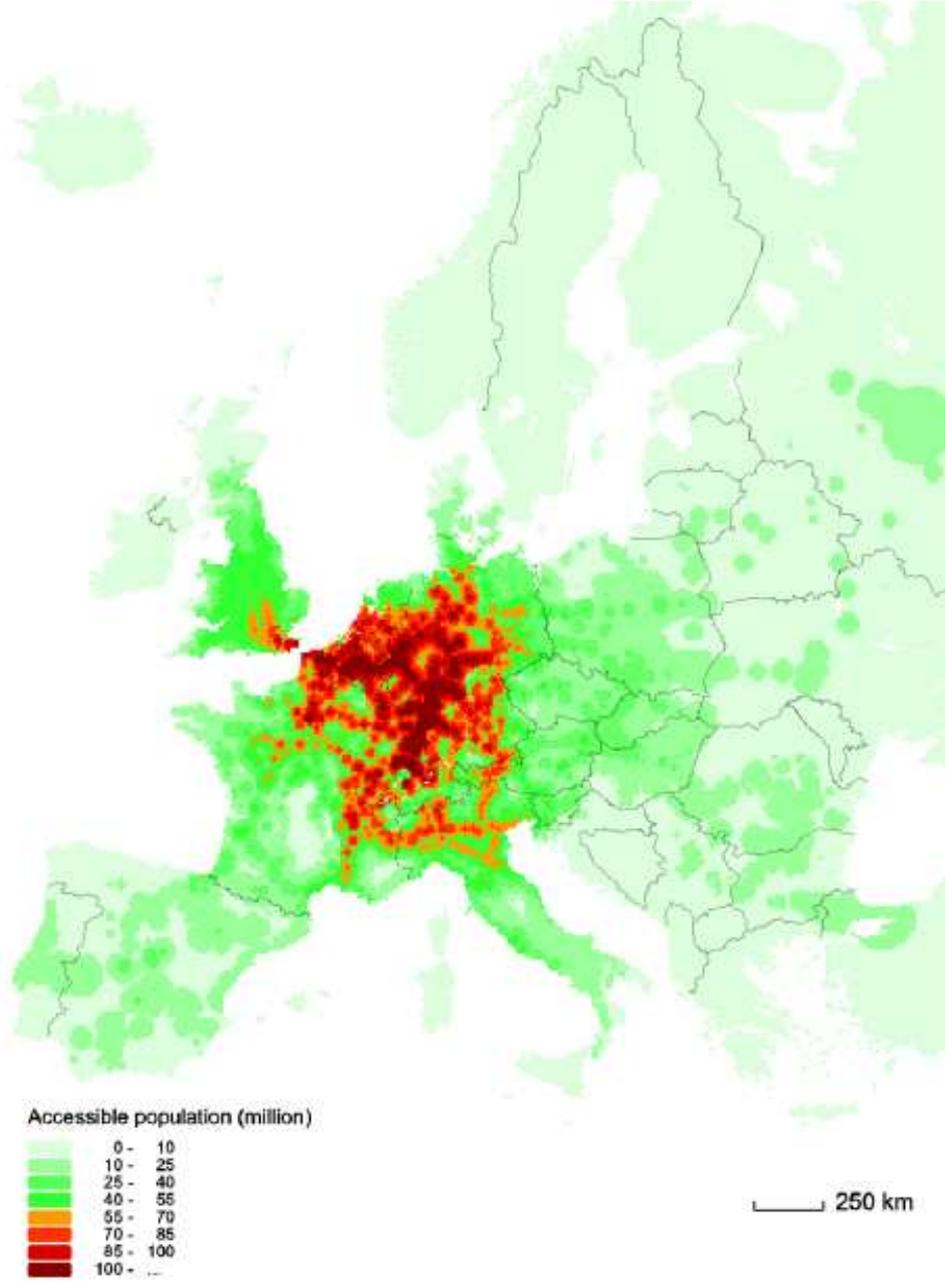


Figure 13: Daily accessibility by rail to population in 2010 (Source: Schürmann *et al.*, 1997 [in Spiekermann and Neubauer, 2002])

Another example of daily accessibility is given by Luis (2002), who applied the concept to the case of the Canary Islands archipelagos. In his study, he provided useful indications on directions with respect to the transport network issues. In particular, he calculated an indicator measuring the time available at destination (i.e. a daily accessibility indicator) and he used it to assess the territorial cohesion of the archipelago.

In the literature, Geurs and Ritsema van Eck (2001) have pointed out a few advantages presented by contour measures (see also Makrí and Folkesson, 1999 ; Geurs and van Wee, 2004 ; Dong *et al.*, 2006):

- they present an easily explainable accessibility measure without assumptions about an individual's perception on transport and land-use.
- the data for the measures are readily available, making it possible to study different types of access.

As a result, contour measures are easily interpretable, communicable, and operationalisable. As well as distance measures, they are relatively undemanding of data and are easy to understand for planners and researchers (Geurs and van Wee, 2004). Although contour measures incorporate both the transport component and the land-use component, they present the disadvantage not to evaluate their combined effect. Moreover, contour measures have certain others disadvantages related to the theoretical criteria, particularly that (Vickerman, 1974 ; Ben-Akiva and Lerman, 1979 ; Pirie, 1979 ; Hanson and Schwab, 1987 ; Linneker and Spence, 1992 ; Handy and Niemeier, 1997 ; Geurs and Ritsema van Eck, 2001 ; Spiekermann and Neubauer, 2002 ; Geurs and van Wee, 2004 ; Bertolini *et al.*, 2005 ; Dong *et al.*, 2006):

- they don't consider the value that individuals attach to each of these components separately. Moreover, it can be criticized that all individuals in a zone are assumed to have the same level of accessibility, while there are significant variations in individual accessibility (and this, even at the local scale). Consequently, only aggregate place accessibility is revealed and contour measures are therefore not relevant for evaluating individual accessibility.
- all destinations are equally desirable, regardless of the type of activity or the time spent on travelling to reach these. As a result, it does not fully reflect the human behaviour, because a remote destination (e.g. five hours travel time) has a same importance than a nearby destination (e.g. 30 minutes travel time).
- the selection of the isochrone (or isodistance) is generally arbitrary. However, this can be moderated by the fact that, in certain cases, some authors choice a cut-off travel distance or time justified by an empirical basis. For example, Bertolini *et al.* (2005) have chosen a 30 min travel time limit for Netherlands because, in this country, 80 % of all commuters spend half an hour or less to travel between their home and their workplace⁸.
- there is a lack of differentiation between activities adjacent to the origin and those just within the isochrone of interest
- an improvement in travel time (e.g. caused by a land-use or infrastructural change) does not cause an improvement of accessibility index, which is not realistic. Geurs and Ritsema van Eck (2001) illustrate this by the following example : in the case where an infrastructure improvement reduces travel time between two cities from 50 minutes to 15 minutes, this does not change the accessibility index of a contour measure **if** the maximum travel time is set at 51 minutes or more (e.g. 60 minutes). However, this would strongly change the accessibility index if we assume a maximum of 30 minutes
- as it is the case for distance and integral measures, they fail to account for competition effects in both origins and destinations

⁸ According to the Central Bureau of Statistics in Netherlands, the average commuting time was 28 min in 2001.

- **Potential measures**

To overcome the choice of subjective and arbitrary spatial boundary for isochrones (or isodistances), potential accessibility measures (or “gravity-based measures”) are used. Such measures correspond to improved contour measures because they allow a gradual decrease of accessibility as the travel time to destinations increases (for example). This concept of potential is derived from the gravity model of spatial interaction, which asserts that the potential of opportunity between two places is positively related to the sizes of the attractiveness of the places, and negatively related to travel impedance between them. In other words, potential measures are derived by weighting the opportunities located in an area by a measure of attraction (e.g. population, purchasing power, total retail floor space, or the number of households) and discounting each opportunity by a measure of impedance (Knox, 1978 ; Rich, 1979 ; Handy, 1993 ; Geertman and van Eck, 1995 ; Wyatt, 1997 ; Johnston *et al.*, 2000).

Potential measures have been introduced by the social physics school, during the 19th century. Originally applied by Stewart (1947, 1948) in a study on population distribution, it was subsequently used in location analysis (Harris, 1954) and to describe accessibility to activities. In this last case, Hansen (1959) was the first to use the potential concept to evaluate accessibility to employment activities. Then, he defined accessibility as “the potential of opportunities for interaction” and described it as follows:

$$A_i = \sum_{j=1}^n D_j d_{ij}^{-\alpha} \quad (4)$$

where A_i is a measure of accessibility at zone i to all opportunities/activities D in zone j (also considered as the attraction of destination j), d_{ij} the travel impedance (distance, time, or (generalised) cost) between i and j , and α a parameter reflecting distance impedance. The Hansen equation estimates the accessibility of activities from zone i to all other zones (n) where more distant activities provide diminishing influences (Geurs and Ritsema van Eck, 2001 ; Geurs and van Wee, 2004). In certain studies (Makrí and Folkesson, 1999 ; Makrí, 2001), the amount of activity D_j is often interpreted as the attraction in zone j (i.e. as a weight reflecting the attractiveness of a region or a specific node). Thus, in this context, accessibility between origins and destinations is directly proportional to the attraction associated at zone j , and inversely proportional to the distance (or time, or cost) for travelling between them.

In addition to its use in urban and geographical studies, potential measures have been widely applied in studies analysing accessibility of places and used various attraction factors, i.e. destination variables (such as jobs, population, retail services, health services, education and recreational facilities) (Geertman and Ritsema van Eck, 1995). For example, the attractiveness of a shopping centre can be more or less high according to factors such as retail floor space, parking space, or number of employees (Zhu and Liu, 2004). Besides, the attractiveness of urban areas depends on their masses in terms of population (Lutter *et al.*, 1992 ; Bruinsma and Rietveld, 1993), employment (Linneker and Spence, 1992 ; Spence and Linneker, 1994 ; Hilal, 2004), or economic activity (Keeble *et al.*, 1988 ; Gutiérrez and Urbano, 1996 ; Gutiérrez *et al.*, 1996 ; Gutiérrez, 2001). An example of urban attractiveness is given by Gutiérrez and Urbano (1996), who used a weighted potential accessibility measure to assess the impact of the future Trans-European Road Network on accessibility (for the period 1992-2002). More precisely, their indicator consists in calculating a weighted average of the impedances between each node with regard to the chief economic activity centres and taking

as weights the gross domestic product (GDP) of those centres⁹ (cf. figure 14). Analysis of accessibility to the centres confirmed the marked differences concerning the conditions of accessibility within Europe and showed that, in 1992, the most privileged regions coincided with the central area of the “blue banana”. On the other hand, it was also observed that, if one goes towards the peripheral regions, there is a gradual decline in accessibility within the more compact parts of the continent, and a steeper one within the peninsulas and islands. The results also showed that the new links (planned for 2002) appreciably modify levels of accessibility to economic activity centres within the European Union, and more particularly for peripheral regions. Such projects reduce consequently the friction of distance and provide more benefits for peripheral regions than for central ones.

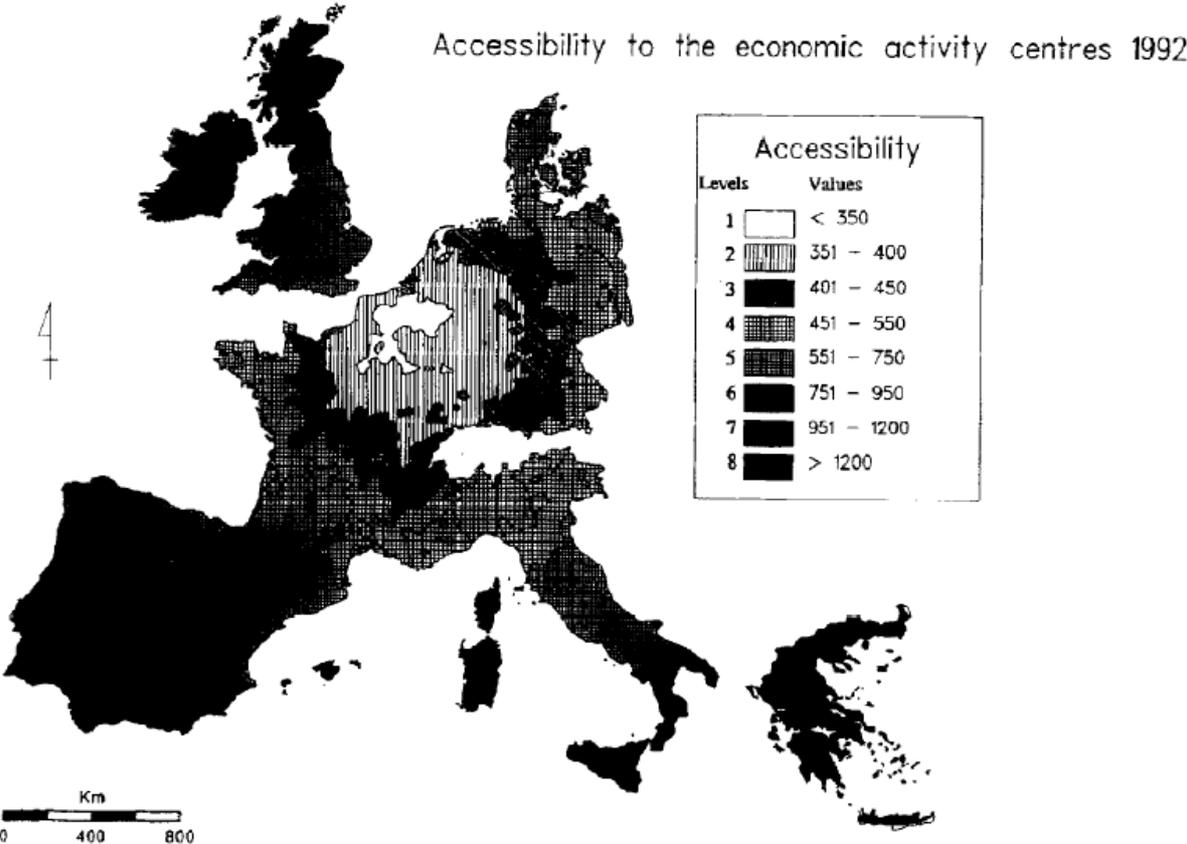


Figure 14: Potential accessibility to the main economic activity centres, 1992
(Source: Gutiérrez and Urbano, 1996).

Other studies use potential measures as market potentials, with income or GDP as the destination variable (e.g. more than half of the European models use this type of potential measure). For example, Keeble *et al.* (1981, 1988) used a potential measure with the road distance costs as impedance and the GDP as destination activity to analyse the centrality of economic centres in Europe. They obtained results expressed as an Economic Potential Index and mapped as contour lines (cf. figure 15). More recently, Copus (1997 ; 1999) developed “peripherality indicators” for NUTS-2 and NUTS-3 regions, based on potential measures of

⁹ Note that the GDP is used here as a measure of the economic activity. The cadastral surface occupied by industrial, distributive and service activities can also be used as a measure of the economic activity (Thomas *et al.*, 2003).

the Keeble type. The results are presented as a map with the lower values of accessibility (or peripherality) for most central areas and the higher values for most peripheral areas.



Figure 15: Economic potential in Europe (Source: Keeble *et al.*, 1988 [in Geurs and Ritsema van Eck, 2001])

Another example is given by Schürmann and Talaat (2000), who implemented an index of peripherality of the potential type in a GIS¹⁰. Such an index was applied for NUTS-3 regions and was calculated for passenger or freight transport by road using GDP, population, or labour force as destination activity (cf. figure 16 as illustration). Furthermore, Wegener *et al.* (2000 ; 2002) calculated the accessibility to population and GDP (destination variables) and used them as indicators for the size of market areas for suppliers (e.g. population as destination variable can reflect the amount of consumption required, while GDP can reflect the importance of the economic activity). These accessibility measures were applied for NUTS-3 regions and were calculated for road, rail and air. Grasland (1991 ; 1999) also employed potential measures using population as destination variable and geographical (or euclidian) distance as spatial impedance. Developed on a grid of cells of 1° latitude and longitude, the indicator is expressed as a population potential and is mapped as contour lines.

¹⁰ Geographical Information System.

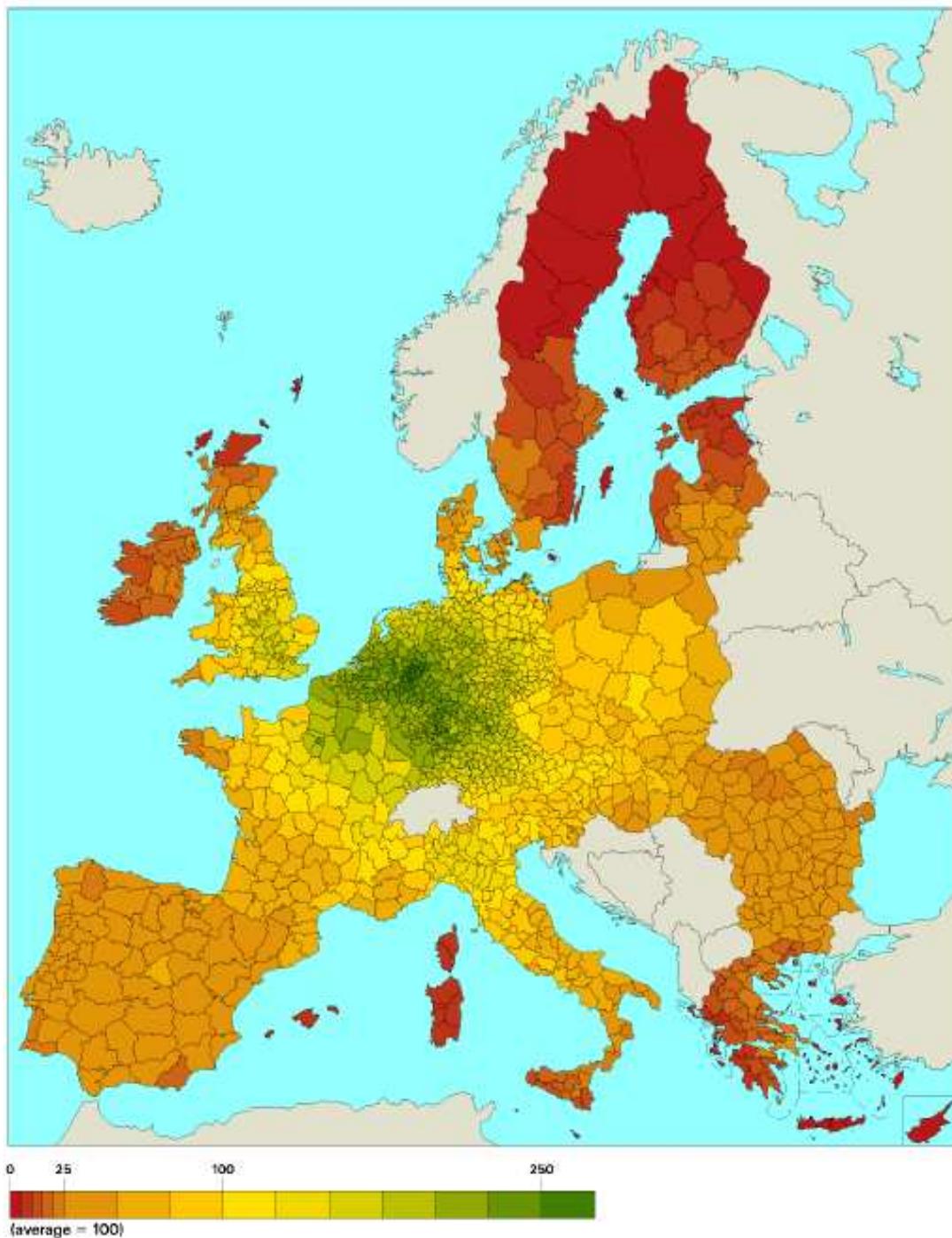
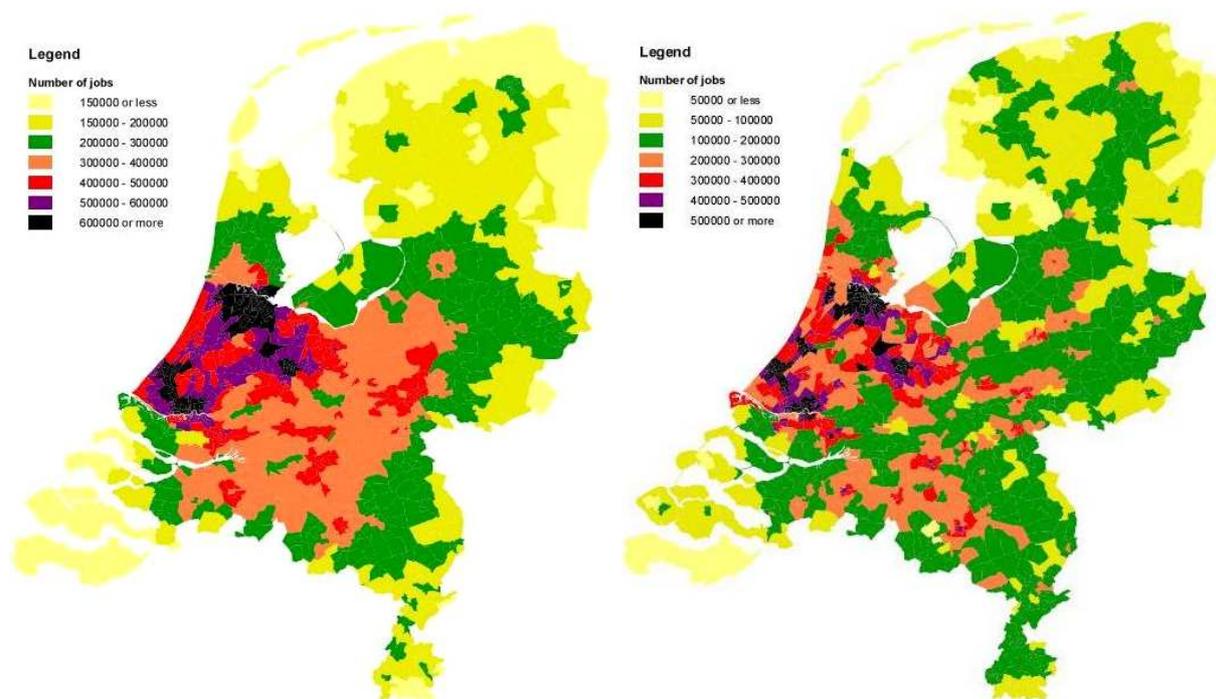


Figure 16: Potential accessibility to population by car (Source: Schürmann and Talaat, 2000 [in Schürmann and Talaat, 2002]).

Spiekermann *et al.* (2001) developed an accessibility model at the regional level, for the NUTS-5 regions. In this study, fourteen urban agglomerations in North-western Europe were thus analysed and a potential measure was calculated for road, rail and air. Results show that accessibility within an urban agglomeration can be very different and depends on the location of municipalities with respect to high level transport nodes (such as high-speed rail stations and airports).

In their recent investigation based on the review and on the application of accessibility measures, Geurs and Ritsema van Eck (2001) also used potential measures, and obtained numerous results in the Netherlands for a base year and two main scenarios for the period 1995-2020 (a Trend scenario, representing the continuation of Dutch land-use policies and historical land-use trends, and a Tolerant scenario representing a situation in which consumers' housing preferences influence the land-use development). In particular, they used employment as destination variable and analysed job accessibility by car and public transport by applying not only potential measures, but also contour measures, the Joseph and Bantocks' index, and the inverse balancing factors method (cf. next sections about those measures). Concerning the potential accessibility measures for the year 1995, results clearly show that the Randstad Area has the highest accessibility levels by car, as well as some other urban areas. On the other hand, accessibility by public transport is high for large and some middle-sized towns in the Randstad Area, as well as for middle-sized towns in the Brabantstad Area eastward and northeastward (cf. figures 17 and 18 for an illustration on potential measures).



Figures 17 and 18: Potential accessibility measure illustrating the job accessibility by car (left) and by public transports (right), in 1995 (Source: Geurs and Ritsema van Eck, 2001)

Finally, a last example is from Thomas *et al.* (2003), who assessed several accessibility measures applied for three freight transport modes (roads, railways, and waterways). With Belgium as study area, they show mainly that transportation infrastructure appreciably shapes the geographical space and that this structure is highly dependent upon the history of the country (which results in a strong spatial inertia). Among accessibility measures, the so-called “geographical accessibility” and “economic accessibility” correspond to potential measures (integrated on all modes). The first accessibility measure uses the population as destination variable, and the second employs the cadastral surface occupied by industrial, distributive, and service activities (also as destination variable). On the one hand, geographical accessibility indices show that Brussels has the highest level of accessibility, particularly because of the domination of freight transported by road (88 % of freight is transported by

road, while 10 % is transported by rail and 2 % by waterway). Another interesting result (obtained by means of a sensitivity analysis applied on the proportion of freight transported by road, rail, or waterway) shows us that the accessibility pattern does not change whatever the market shares of the different transportation modes. According to the authors, such a result can be explained by the historical spread and growth of the population, as well as the fact that road is the most important transportation mode. On the other hand, the economic accessibility analysis shows us that four clusters of municipalities can be distinguished in Belgium, according to four variables based on the transportation infrastructure and economic activities (i.e. one variable reflecting the amount of economic activity, and three others measuring the topological accessibility associated to road, this associated to rail, and this associated to waterways).

In practice, the original Hansen equation has been modified and adapted in different ways. According to Geurs and Ritsema van Eck (2001), four types of adaptations can be identified. Firstly, common potential measures use generally *distance decay functions*, such as power, exponential, Gaussian and logistic functions. Such measures are called “basic potential accessibility measures” and are based on the assumption that the attraction of a destination increases with its size and declines with distance, travel time or cost¹¹ (Spiekermann and Neubauer, 2002). They are described as follows (Geurs and Ritsema van Eck, 2001):

$$A_i = \sum_{j=1}^n D_j F(c_{ij}) \quad (5)$$

where $F(c_{ij})$ is the deterrence (or impedance) function and c_{ij} is the generalised cost (or travel time, or distance) between i and j . Such a deterrence function describes the ease of reaching one or several destinations and can be measured in terms of travel time, distance, cost, or inconvenience (Spiekermann and Neubauer, 2002).

Note that the function $F(c_{ij})$ has a significant impact on the results of the accessibility measure, implying that the form and the parameters of the function should be evaluated using recent empirical data. The most commonly used variable of the impedance function is the inverse power function c_{ij}^{-x} . But, according to Ingram (1971), a modified Gaussian function fits better with empirical evidence since it has the advantage of having a slow rate of decline close to the origin (contrary to negative exponential and inverse power functions which are characterised by a too rapid decline in comparison with empirical evidence). However, the most closely tied function to travel behaviour theory is the negative exponential function (Song, 1996 ; Handy and Niemeier, 1997 ; Kwan, 1998). For example, a study applied in Switzerland (Hilber and Arendt, 2004) uses such a form as impedance function: $F(c_{ij}) = e^{-\beta \cdot c_{ij}}$, where β is a parameter indicating the sensitivity of travel cost (in the context of the study, it determines the weighting of activities). So, the higher the value of this parameter, the more heavily the readily accessible activities are weighted. Several studies use values for β ranging from 0,01 at European level (Schürmann *et al.*, 1997) and 0,2 at national level (Axhausen and Fröhlich, 2002) to 0,5 at regional level (Simma *et al.*, 2001). In their research, Hilber and Arendt (2004) applied the measures at the national level (thus, $\beta = 0,2$) and obtained potential accessibility values for both private motorized and public transport for 2000 and 2020 (as illustration, cf. figure 19). Those results suggest that significant changes in accessibility occur near the newly built motorway sections. In particular, the A4 between Zug

¹¹ Note that almost all European models use travel time as impedance term (Spiekermann and Neubauer, 2002).

and Zurich and the A1 in the city of Zurich provide the greatest benefits because they pass through heavily populated areas and urban centres with strong concentration of employment). Another study driven by Gutiérrez (2001) uses as indicator an “economic potential” to evaluate the accessibility impact of the high-speed Madrid-Barcelona-French border. This potential measure analyses the accessibility of a given volume of economic activity to a particular node (e.g. city, or region), by taking the impedance (cost or time) of covering the distance to this activity into account. In this context, the indicator measures the economic potential of each place and the changes in potential due to the new high-speed railway. The results of the study show that changes in accessibility are concentrated on cities affected by the new line (and those changes affect cities to a greater extent than other indicators such as the daily accessibility and the weighted average travel times).

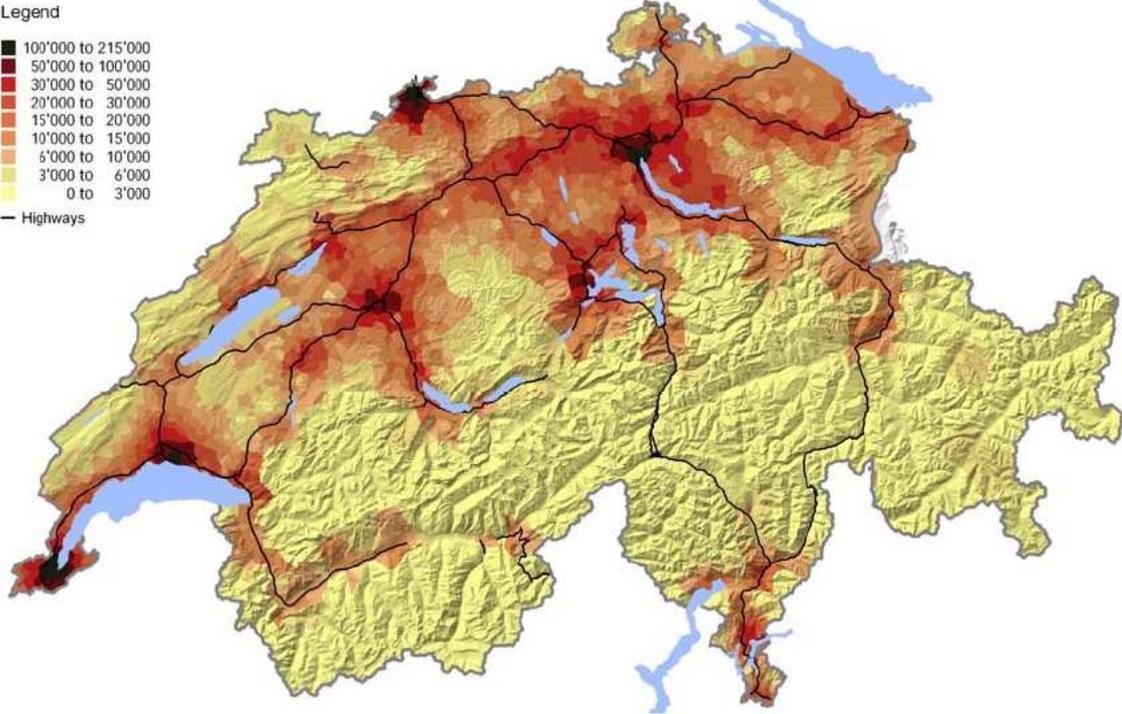


Figure 19: Potential accessibility measure illustrating the population accessible by private motorized transport, in 2000 (Source: Hilber and Arendt, 2004).

Concerning the impedance function, it should also be remembered that physical conditions of the real-world infrastructure are represented by a set of links and nodes. Thus, impedance between origin and destination can be evaluated as the sum of the impedances of the arcs travelled through (I_a) and the nodes which are crossed by the minimal path (I_n) (Gutiérrez and Urbano, 1996):

$$F(c_{ij}) = \sum I_a + \sum I_n \tag{6}$$

Arc impedances (I_a) can be calculated on the basis of the length of the arcs and estimated speeds according to the type of road (e.g. 120 km/h for motorways, 110 for expressways, 90 for inter-regional roads, and 70 for other types of roads). Note that travel times determining arc impedance I_a can also be weighted by coefficients representing comfort and safety in driving (e.g. a coefficient of 0,80 is attributed for motorways, while a coefficient of 0,85 is attributed for expressways). Arc impedances can thus be formulated as follows (*ibidem*):

$$I_a = C_a.T_a \quad (7)$$

where T_a is the travel time taken in travelling through the arc a and C_a is the coefficient of infrastructure of this arc to represent safety and comfort attributed to each type of road. Finally, given that the density of traffic generally increases while approaching to a city centre, node impedances (I_n) simulate the delay effect caused by the crossing of its outskirts by introducing a penalty proportional to the population. The following formula is then used (*ibidem*):

$$I_n = 15.\log(P.10) \quad (8)$$

where P is the population living within the node n . A logarithmic function is used here to illustrate that the delay caused by the crossing of a large agglomeration does not increase linearly with the size of same.

Distance decay functions can also be used to represent different types of people, based upon their mobility status. For example, individuals who can only travel by bus from a zone i to an activity j have a different level of accessibility than individuals owning a car and having the choice between the bus or their car (Church and Marston, 2003).

Secondly, ***the potential accessibility measure can be normalised or weighted***, e.g. according to the total number of residents in the zone of origin (Scheider and Beck, 1974), or according to socio-economic factors (e.g. social and age class). Indeed, all locations are not equal and thus some are more important than others (Rodrigue *et al.*, 2005). An example of this is the potential accessibility A_i for the residents of zone i is measured as:

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n D_j F(c_{ij})}{A} \quad (9)$$

where A is the standardising factor (Makrí and Folkesson, 1999 ; Makrí, 2001). Such a measure may reflect the level of potential demand for particular activities.

Thirdly, ***potential accessibility can be analysed for different transport modes and/or socio-economic groups*** (Black and Conroy, 1977 ; Wachs and Kumagai, 1973). In the situation where we want to analyse the multimodal accessibility (i.e. the potential accessibility for different transport modes), potential measures are aggregated across modes in two possible ways :

- only the impedance of the fastest mode or the mode with the lowest cost is used, ignoring all other modes in that relationship
- in a more realistic way, the logsum (or composite) impedance of all modes is used. It is defined by the following equation (Williams, 1977):

$$C_{ij} = -\frac{1}{\beta} . \ln \sum_m e^{-\beta.c_{ijm}} \quad (10)$$

where c_{ijm} is the generalised cost of travel by mode m (between i and j) and β is a parameter representing the sensitivity to travel cost. Numerous studies use logsum impedance for analysing potential accessibility. An example is given by Simmonds and Jenkinson (1993, 1995) who estimated the economic potential for European

regions with GDP as destination variable and composite travel times for various modes (road, rail and air) as impedance. Another example is from Spiekermann *et al.* (2002), who developed a multimodal accessibility indicator for NUTS-3 regions. This latter was a logsum accessibility potential aggregating all modes (road, rail and air) rather than only one. In other words, it integrates in one indicator the contributions of all transport modes to the degree of centrality.

In addition to the aggregation of potential measures across modes, we can explicitly account for the different socio-economic groups (e.g. stratified by income, or by educational level). Several studies have showed that the accessibility level to activities heavily depends on socio-economic characteristics of the population (Wachs and Kumagai, 1973 ; Cervero *et al.*, 1997 ; Shen, 1998 ; Van Ham *et al.*, 2001). Indeed, in the case of job accessibility, if residents of an area are close to a lot of job activities but do not have the skills to be qualified for these jobs, they still have a low level of accessibility to employment. For example, Wachs and Kumagai (1973) conclude in a study that the highest income group has a higher job accessibility than lower and middle income groups. A reason to this is that highest and lowest income groups are located relatively close to the downtown (and consequently, close to a lot of industrial or commercial jobs). Furthermore, low income groups have a higher level of accessibility than middle income groups because those former have more qualifications for industrial job opportunities located in the vicinity. Another result found by Wachs and Kumagai is that accessibility level to health-care facilities depends on the level of car ownership. For example, given that the black population has a low level of car ownership, their accessibility level to health-care facilities is also reduced. More recently, Shen (1998) analysed car and public transport accessibility of workers and he found that low-wage workers living in the central business district have a low accessibility level due to the low level of car ownership. Moreover, Van Ham *et al.* (2001) observed that the probability of a good match between education and job level increases with job accessibility, particularly for high-educated workers.

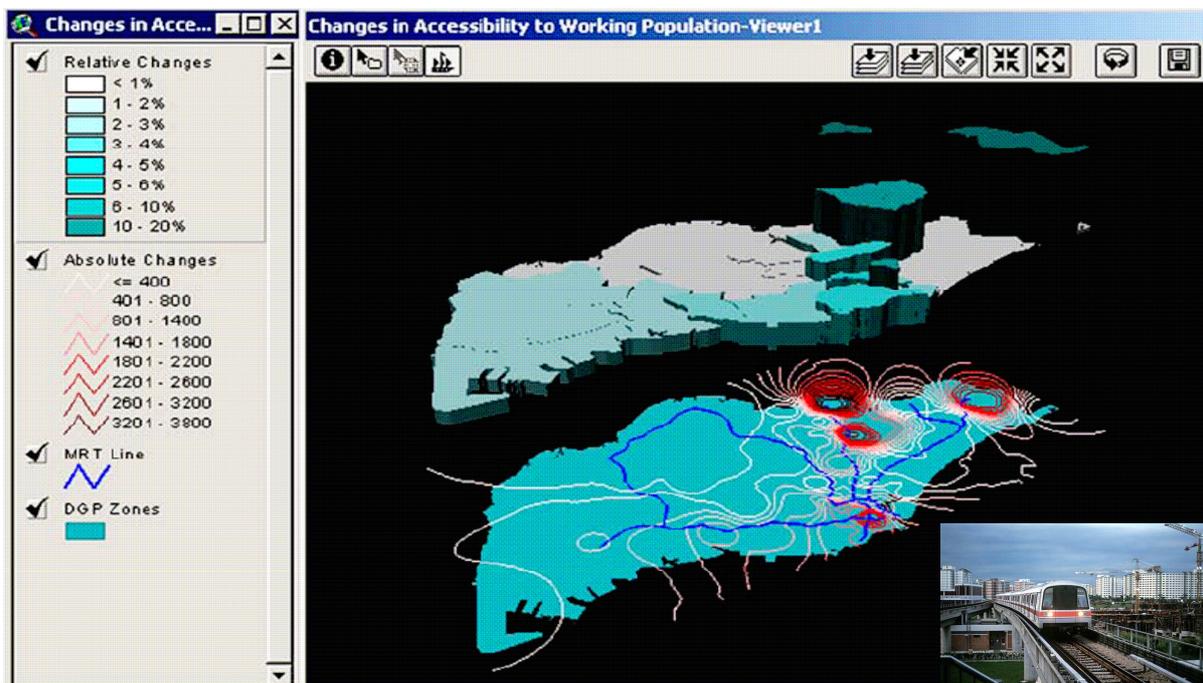


Figure 20: Changes in accessibility to the working population due to the MRT (cf. photo)
(Source: Zhu and Liu, 2004)

Fourthly, *changes in potential accessibility over time can be analysed by holding the land-use or the travel impedance constant*. For example, Geurs and Ritsema van Eck (2001) analysed the separate influence of land-use changes and transport changes on the variation of the potential accessibility over time (for the 1995-2020 period). Another example taking into account changes in potential accessibility is given by Zhu and Liu (2004). They studied impacts of the construction of a new North-East train line on accessibility in Singapore. The empirical results obtained in this study show that the construction of this new line has greatly increased accessibility of the northeastern part of Singapore (cf. figure 20). However, they also found that the impact of the MRT is insignificant on accessibility of the northern, northwestern, and eastern parts of the island (cf. Figures in appendix). Note that changes in accessibility levels (e.g. caused by improvements in transport infrastructure or land-uses) can have a wide variety of effects on households and firms (e.g. locations or relocations can result of such changes)¹².

In addition to the fact that they overcome some of the theoretical shortcomings of the contour and distance measures by evaluating the combined effect of land-use and transport components, main advantages of potential accessibility measures are the following:

- Even if potential measures are more complex and less easily communicated than contour measures, they are still relatively easy to interpret by non-specialists because it describes a range of choices provided by the land-use transport system in the form of a sum of potential destinations (Koenig, 1980). Indeed, the concept may be grasped intuitively (Hilber and Arendt, 2004).
- Compared to indicators reflecting behavioral aspects (e.g. utility-based or person-based accessibility measures), potential measures require a modest amount of data (Geurs and Ritsema van Eck, 2001 ; Baradaran and Ramjerdi, 2001 ; Hilber and Arendt, 2004).
- Distance decay functions used in potential accessibility measures have the advantage to incorporate assumptions on individual's perceptions of transport (Geurs and van Wee, 2004). Indeed, destination activities are weighted as regards their ease of accessibility in terms of travel time or costs (Spiekermann and Neubauer, 2002).
- Potential measures are adequate for analysing the level of accessibility to social and economic activities for groups with different socio-economic characteristics, as well as for evaluating social and economic impacts of investment projects (Helling, 1998 ; Geurs and van Wee, 2004).

Although they are more realistic than contour or distance measures, potential accessibility measures have some more or less serious drawbacks, such as:

- Intrazonal potential (i.e. the number of activities within origin zone is weighted by the average travel time or distance within this zone) has a substantial impact on the measurement of potential values. Consequently, a zone with greater mass such as a city strongly contributes to its own accessibility (heavy weighting for internal accessibility) (Geurs and Ritsema van Eck, 2001 ; Hilber and Arendt, 2004). According to Frost and Spence (1995), the use of **small studies areas** leads to less dependence on the intrazonal potential and avoids such a problem.
- As it is the case for contour measures, potential measures do not account for the characteristics of the individuals for whom the accessibility is estimated. Then, the

¹² Besides the role of accessibility in location choice behaviour of households, Vanderschuren *et al.* (1996) showed on the basis of a Stated Preferences Study that personal characteristics (e.g. age, income, gender, educational level) are also important factors for explaining locations of households.

assumption is that all individuals in the same zone have the same level of accessibility, whereas they have different needs and they may perceive the set of destinations and travel inconveniences quite differently (Pirie, 1979 ; Ben-Akiva and Lerman, 1979 ; Geurs and Ritsema van Eck, 2001 ; Dong *et al.*, 2006). For example, individuals with disabilities do not have the same level of accessibility than individuals without disabilities. Another problem related to potential measures is that they do not account for spatio-temporal constraints. For example, households generally face with those constraints which play a key role in the implementation of the daily activity programme, and many activities may then be out of reach for an individual because of them (Burnett, 1980 ; Kwan and Hong, 1998 ; Kwan, 1998).

- Such measures ignore the fact that many trips contributing to individual accessibility are made in the context of the sequential unfolding of a person's daily activity program. Consequently, they often underestimate the accessibility to activities of noncentral urban locations (Kwan, 1998).
- Although potential measures describe the spatial distribution of the available supplied activities (e.g. shops, jobs, ...), they make no allowance for the spatial distribution of the demand for those activities (e.g. the inhabitants). However, such a competition effect is present in reality and the distribution of the demand affects the accessibility level of the activities. Indeed, countries are characterised by an uneven spatial distribution of people and activities, and competition can consequently occur. For example, cities have generally a high supply of jobs which is matched by a similarly high demand. If there are many competitors in the area, the chance of getting the job is lower than in a situation with no or few competitors. So, there can be a fierce competition that results in a lowering of job accessibility (Geurs and Ritsema van Eck, 2001 ; van Wee *et al.*, 2001 ; Hilber and Arendt, 2004). Another disadvantage related to this competition effect for activities is that potential measures do not take into account possible capacity limitations of those activities (Shen, 1998). Consequently, such measures are not appropriate if competition on activities exists (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).
- Conclusions obtained with potential measures may be unsatisfactory when used without sufficient care to aggregate individual accessibility levels (*ibidem*).
- The impedance function (or distance decay function) has a significant impact on the potential measure. The choice of this impedance function requires particular care and the parameters should be estimated using recent empirical data of spatial travel behaviour in the study area. Besides, characteristics of the demand (e.g. income, educational level) and of the supplied activities (e.g. local shops) should be reflected into the impedance function (*ibidem*).

- ***Spatial interaction and inverse balancing factors***

The level of spatial interaction (and thus, the competition effect) between locations can be derived from gravity models. In this case, the gravity model of spatial interaction is based on an analogy with Newtonian physics, postulating that the amount of interaction between an origin and a destination increases proportionally with their sizes, but also decreases with the distance separating them (Ritsema van Eck and de Jong, 1999 ; Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

In many studies (see for example, Geurs and Ritsema van Eck, 2001 ; van Wee *et al.*, 2001), the implementation of a correction or competition factor in accessibility measures was found to affect the results. Such a factor has been developed to take into account the competition

effect (e.g. competition on jobs, hospital beds). Also called “balancing factor”, it consequently overcomes the main disadvantage of potential measures. Indeed, the balancing factors include in their measure the level of spatial interaction between locations, as well as they incorporate the characteristics of the supplied activities and the demand for these activities. This interaction may be considered according to four basic models (Wilson, 1971):

- (1) a production-constrained model
- (2) an attraction-constrained model
- (3) a doubly constrained model¹³
- (4) an unconstrained model

In this paper, we will focus on the Wilson’s doubly constrained spatial interaction model, that can be considered as an accessibility measure. Such a model is used in situations where both the origins O_i (e.g. residences) and destinations D_j (e.g. workplaces) are fixed. In terms of accessibility, this corresponds to the case where competition exists both on the origins and the destinations (e.g. employers compete for workers and workers compete for jobs). The doubly constrained model has the following form (Geurs and Ritsema van Eck, 2001):

$$T_{ij} = a_i \cdot b_j \cdot O_i \cdot D_j \cdot F(c_{ij}) \quad (11)$$

where T_{ij} = magnitude of flow (e.g. trips) between zones i and j
 $a_i \cdot b_j$ = balancing factors, transforming the activity units into the flow unit
 O_i = number of activities in zone i (e.g. number of inhabitants)
 D_j = number of activities in zone j (e.g. jobs)
 $F(c_{ij})$ = impedance function

The value of balancing factor a_i ensures that the magnitude of flow (e.g. trips) originating from zone i equals the number of activities in zone i (e.g. inhabitants). On the other hand, the value of b_j ensures that the magnitude of flow destined at zone j equals the number of activities in zone j (e.g. jobs). Note that the balancing factors a_i and b_j are defined as follows:

$$a_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^n b_j D_j F(c_{ij})} \quad \text{and} \quad b_j = \frac{1}{\sum_{i=1}^m a_i O_i F(c_{ij})} \quad (12)$$

It can be seen in these equations that a_i and b_j are mutually dependent, so they have to be estimated iteratively. To calculate a_i , it is necessary to make b_j equal to 1 (in the first equation). After that, a_i must be replaced (in the second equation) by the value obtained to calculate new values of b_j . Finally, the process is repeated until a numerical equilibrium is reached (*ibidem*). Given that balancing factors are dependent and evaluated in an iterative procedure, they incorporate both the competition on activities and the competition on demand. Consequently, they are useful in analysing accessibility for several situations including competition effects on both origins and destinations, such as it is the case for job accessibility, e.g. workers compete for jobs, and employers compete for those workers (Geurs and van Wee, 2004).

Note that a singly constrained model has also been developed to represent the situation where competition only exists on the origins, and not on the destinations. Such a model is generally

¹³ Also called, “production-destination constrained model”

used in retail applications. For example, it could mean that shops compete for customers, but customers do not compete for shops (Ritsema van Eck and de Jong, 1999 ; Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

The main interest of a doubly constrained model is then that balancing factors can be regarded as kinds of accessibility indicators, modified to account for competition effects. For instance, the factor a_i represents the competition between residents (located in zone i) for available destinations (located in zone j). Thus, the residents will have a higher accessibility to activities when a_i is smaller than 1 (i.e. when there is a high number of destinations in zone j and/or a reduced number of origins in zone i). Note that for a more appropriate use to measure accessibility, we will use the inverse of the balancing factor. Doing that, accessibility increases more logically if a_i increases (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

Inverse balancing factors of a doubly constrained model are not often used as accessibility indicators because it is not easily explained. Indeed, those indicators are the result of an iterative process including both the locations of demand and supply weighted by a distance decay function, which is not so easy to interpret. However, such a model has the main advantage to account for competition effects for both the demand and supply of activities, providing thus a more realistic accessibility estimate (*ibidem*). Moreover, the operationalisation is relatively easy because the measure can be computed applying state-of-the-practice land-use and transport models (Geurs and van Wee, 2004).

- ***Other approaches accounting for competition effects***

There is not one approach to handle competition effects. As well as approaches taking competition on both origin and destination locations into account (such as inverse balancing factors), there are other methods incorporating the degree of competition for an activity (e.g. work, health-care services) into a potential measure. Instead of applying the competition effect on both origin and destinations, many authors have restricted the competition on either origins or destinations. Those methods are the following (Geurs and Ritsema van Eck, 2001):

- A method taking ***competition on origin locations*** into account, i.e. estimating the quotient of activities (e.g. jobs) within reach (located in zone i) and the potential demand from each origin i for these activities (also located in zone i)
- A method taking ***competition on destination locations*** into account, i.e. estimating the quotient of activities in origin i within reach and the potential demand from each destination j for these activities

Thus, the first method (***competition based on origin locations***) incorporates the effects of competition on activities in accessibility measures by dividing the number of activities within reach (located in the zone i) by the potential demand (*also* coming from origin i). An example is given by Weibull (1976), who developed an accessibility measure to job activities, combining a job potential A_i and a population potential P_i . He defined it as follows:

$$I_i = \frac{\sum_{j=1}^n D_j F(c_{ij})}{\sum_{j=1}^n O_j F(c_{ij})} = \frac{A_i}{P_i} \quad (13)$$

where D_j = number of job opportunities in region/zone j

O_j = number of inhabitants in region/zone j
 $F(c_{ij})$ = distance decay or impedance function between i and j

A value of I_i higher than 1 implies that the job potential A_i is greater than the population potential P_i . In other words, the level of job competition is low for activities located in i (e.g. low level of competition for jobs, or hospital beds). On the contrary, a value of I_i inferior to 1 implies that job potential A_i is smaller than the population potential P_i , and thus that the level of job competition is high for the activities (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

Other similar measures have also been applied for estimating accessibility to general practitioners. For example, Knox (1978) produced a “final index of accessibility” by combining a potential for size of surgery facilities (A_i) and a population potential (P_i). Another example is given by Joseph and Philips (1984), who developed a “location quotient” LQ_i incorporating the demand and supply aspects of general practitioners. This measure is defined as follows:

$$LQ_i = \frac{GP_i/P_i}{\sum_i GP_i / \sum_i P_i} \quad (14)$$

where GP_i = number of general practitioners in region i
 P_i = population of region i

Consequently, a location quotient higher than 1 means that the region has a greater share of general practitioners relatively to its share of population. On the contrary, a value lower than 1 corresponds to an area where there is a lack in general practitioners.

A major shortcoming of these measures is that it is expressed as a relative index (greater or smaller than 1). For example, it means that the accessibility index of a city centre can be the same that of rural area, even if this city centre is more attractive. Another drawback results from “catchment areas” of activities (i.e. the total area reachable by a point given a certain travel time, cost or distance). Indeed, assume a catchment area (or a zone i) for the origin O and a catchment area for the destination activity D_1 (or a zone j ; cf. figure 21). Assume also that D_1 is located on the border of the catchment area centred on the origin O . In the reality, inhabitants living outside the catchment area of the origin (or zone i) should also compete for the destination activity (particularly the inhabitants living in the catchment area of this destination activity, e.g. C_C and C_D). On the other hand, the Weibull’s measure should not incorporate all the points (or inhabitants) located in the catchment area of the origin: given that D_1 is located on the border of the catchment area of the origin, it may be actually out of reach for several points located in the zone i (indeed, C_A is not included in the catchment area of the destination, or zone j) (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

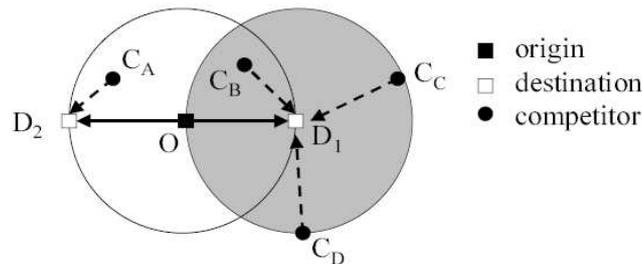


Figure 21: Competition between inhabitants for the activity D_1
 (Source : Geurs and Ritsema van Eck, 2001)

So, Hagoort (1999) and van Wee *et al.* (2001) developed an accessibility measure which not only incorporates the Weibull's measure as competition factor, but also some "extensions" to this which include the effect of indirect competition on the destination activity D_j . The form of the equation is as follows:

$$A_{CF_i} = A_i \cdot CF \quad (15)$$

where A_i = the basic potential accessibility measure
 CF = competition factor, corrected for the effect of indirect competition

Given that $A_i = \sum_{j=1}^n D_j F(c_{ij})$ and that $CF = \frac{\sum_{j=1}^n O_j F(d_{ij}) \cdot CF_0}{\sum_{j=1}^n O_j F(d_{ij})}$ (where $CF_0 = I_i$)

$$(16)$$

then:

$$A_{CF_i} = \sum_{j=1}^n D_j F(c_{ij}) \cdot \frac{\sum_{j=1}^n O_j F(d_{ij}) \cdot I_i}{\sum_{j=1}^n O_j F(d_{ij})} \quad (17)$$

In the study driven by van Wee *et al.* (2001) on competition in the employment market, A_{CF_i} is e.g. the accessibility of jobs within a certain time T_{max} from zone i and including competition, j represents all points of the zone j within T_{max} from zone i ($j = 1, \dots, n$), D_j is the number of jobs in zone j , O_j is the size of employment market in zone j , and $F(d_{ij})$ is the impedance function reflecting the travel time between zones i and j .

The main advantage of the Hagoort's accessibility measure is that it is not expressed as a relative index. Nevertheless, the measure has the disadvantage not to be easily interpreted because it incorporates a competition factor and an arbitrary number of extensions to account for indirect competition in a potential measure. Other major shortcomings are that the Hagoort's measure is based on origin locations (as points of departure)¹⁴, and that it does not incorporate the alternative destination locations that competitors may have within reach (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

The second approach accounting for competition effects incorporate the **competition based on destinations** (see Breheny, 1978). The potential accessibility measure used here calculates the number of activities within reach of a resident (i.e. from an origin, within a certain travel distance) divided by potential number of residents within reach of the *same* destination. An example of this approach is given by Joseph and Bantock (1982), who developed a measure for the potential accessibility of origin i to general practitioners A_i :

$$A_i = \sum_{j=1}^n \left[\frac{GP_j}{\sum_{i=1}^m P_i F(d_{ij})} \right] \cdot F(d_{ij}) \quad (18)$$

¹⁴ Consequently, not all potential competitors are incorporated.

where GP_j = general practitioner at area j within range of area i
 P_i = magnitude of the population within the doctor's catchment area
 $F(d_{ij})$ = distance decay function between i and j

In other words, it divides the number of general practitioners reachable within a certain travel distance from i by the potential demand within the catchment area of the general practitioner. Note that Joseph and Bantock's measure may be used for other type of activities where competition effects occur, e.g. for jobs, hospitals (Kalisvaart, 1998) or schools. In the case where potential accessibility of jobs to the working population is measured, results show that working locations near areas with many inhabitants (i.e. characterized by a high level of competition) contribute less to the accessibility measure than working locations near areas with few inhabitants (i.e. characterized by a low level of competition). Joseph and Bantock's measure can also be expanded by accounting for the transport mode into account in the supply potential (Shen, 1998). In this case, the accessibility measure is weighted by the percentages of people who travel by different modes.

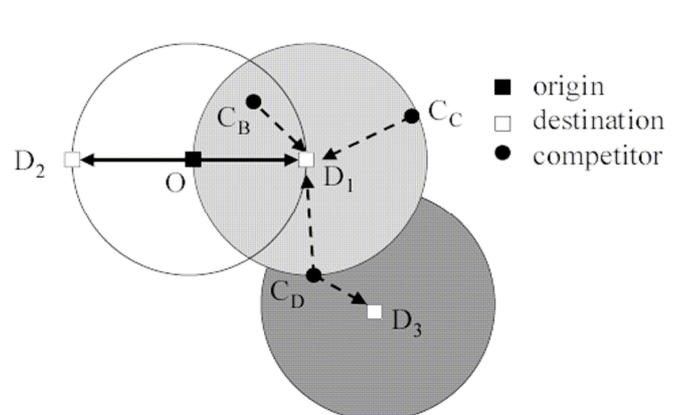


Figure 22: Competition on both origins and destinations
 (Source : Geurs and Ritsema van Eck, 2001)

In general, the Joseph and Bantock's measure is thus relevant for incorporating competition effects on destination locations or where available activities have capacity limitations (e.g. hospital beds). However, it does not account for alternative locations within reach of the potential competitors (e.g. inhabitants). Indeed, it is illustrated in figure 22 that if another destination (or more) is located within the catchment area of destination D_1 , then the demand (and thus the competition level between inhabitants) for destination D_1 will be lower than in the case where there is no alternative destinations. In other words, the Joseph and Bantock's measure does not account for competition effects between different destinations, which is not realistic because e.g. employers (at destinations) compete also between them for workers. Such a drawback is overcome by the inverse balancing factors of a doubly constrained model (cf. previous point). In addition to handle the competition effects on both origins and destinations, this method has also the advantage that inverse balancing factors are not relative index (Geurs and Ritsema van Eck, 2001 ; van Wee *et al.*, 2001 ; Geurs and van Wee, 2004).

In their paper, van Wee *et al.* (2001) consider that new zones (or "extensions") correspond to each new alternative location. Thus, if only one alternative location is considered (as above, in the Fig.6.), then a zone (or an extension) k is delimited (with the point k located at the centre).

Note that other alternative locations (e.g. l, m, n, \dots) can be introduced in the figure¹⁵ but such a procedure does not mean that the accessibility indicator is better. On the other hand, introducing many extensions involves a huge increase in the computing time. In accounting for competition effects in their measures, van Wee *et al.* (2001) showed that the accessibility values may be more than 10 % higher or lower than the values without the competition effect. In the Randstad area, those values are higher once the competition component is included, which confirms the expectations because the number of jobs exceeds the labour force in this region (van Wee *et al.*, 2001).

3.2.3. Person-based accessibility measures

Also called “space-time measures”, person-based accessibility measures include temporal and spatial constraints, and overcome the main disadvantages of contour and potential measures. Indeed, such measures focus on the individual’s perception (i.e. on a micro-level) and assume that “accessibility applies to a particular individual at a particular time and place” (Helling, 1998); it then examines how observed or assumed individual (or household activity) programmes can be carried out, given time restrictions. In other words, person-based measures evaluate accessibility in terms of an individual’s ability to reach opportunities given the person’s daily activity program and spatio-temporal constraints (Landau *et al.*, 1982 ; Kwan, 1998 ; Geurs and Ritsema van Eck, 2001). In this context, disaggregation undertaken by person-based measures evaluates the accessibility separately for different trip purposes, transport modes, income, gender, age, occupational groups, and activity types (Wachs and Kumagai, 1973 ; Dalvi and Martin, 1976 ; Ben-Akiva and Lerman, 1979 ; Handy and Niemeier, 1997 ; Kwan, 1998). For example, Kwan (1998) showed that the male and female adults of the same household (i.e. having a same travel mobility and location) experience different levels of individual accessibility. In short, such measures are able of unraveling differences in individual accessibility (e.g. gender/ethnic differences) while previous activity-based measures may not be able to show such differences and focus rather on the “locational proximity” (Kwan, 1998).

Originated from the space-time geography of Hägerstrand (1970), person-based measures often use space-time prisms to describe the travel patterns in space and time. These prisms can be interpreted as accessibility measures, i.e. they can give the potential area (with locations) which can be reached given predefined time constraints. For example, as said before, Miller (1999) defined a Potential Path Space (PPS) delimiting all locations in the space and time that can be reached by an individual (given certain constraints). For any pair of consecutive fixed activities F_i at location i and F_j at location j (i.e. activities which need to be performed at locations fixed to the individual, e.g. workplace or school), and given a time constraint $t_j - t_i$ for travel between those two activities, the location k is reachable if it is included in the PPS (or space-time prism) which is defined as:

$$PPS = \left\{ (k, t) \mid t_i + \frac{d_{ik}}{v} \leq t \leq t_j - \frac{d_{kj}}{v} \right\} \quad (19)$$

where t_i is the latest ending time of the activity at location i (which is the origin fixed location in the pair), t_j is the earliest starting time of the activity at location j (which is the next fixed location after k), v is the average travel speed on the transport network, d_{ik} is the distance from

¹⁵ Theoretically, the number of extensions (or alternative locations) is unlimited (van Wee *et al.*, 2001).

the first fixed location i to location k , and d_{kj} is the distance from k to the next fixed location j . The projection of this PPS on the x-y space produces the corresponding two-dimensional Potential Path Area (PPA) in which all feasible locations k are included, given the space-time constraints defined above (Kwan, 1998).

Besides, Lenntorp (1976) developed a Program Evaluating the Set of Alternative Sample Paths (PESASP), which determines possible paths in the space and time, given constraints such as the environment or the need to perform activities. Such a model has been used to study public transport in urban areas (Lenntorp, 1978). Burns (1979) developed two individual accessibility measures (in terms of the space-time autonomy of individuals and using the prism construct) incorporating the effect of transport network geometry, nonuniform travel speed and multiple travel modes. Furthermore, it exists other similar models such as the Reach Simulation Program (Huigen, 1986) or the Model of Action Space in Time Intervals and Clusters. The former has been developed in the Netherlands and studies access to services for various groups of inhabitants in rural areas. The latter has been developed to study the effects of time and transport policies on access to activities, such as schools or jobs (Dijst, 1995 ; Dijst and Vidakovic, 1997). Finally, modified space-time prisms also have been developed to measure the individual accessibility, given changes in activity schedules, multistop trip chaining, and various travel speeds (Hall, 1983 ; Arentze *et al.*, 1994). Generally, it is not so easy to operationalise the space-time framework as an accessibility measure. However, methods using network-based GIS procedures have been developed to overcome such operational difficulties (see Miller, 1991).

More recently, Recker *et al.* (2001) address to Pirie's proposal with a conceptual framework incorporating both spatio-temporal constraints and household interaction effects into a more meaningful measure of personal accessibility. In this framework, they define a household activity pattern problem (HAPP), which is posed as a network-based routing model incorporating several components (such as the vehicle assignment, the ride-sharing behavior, the activity assignment and scheduling, and the time window constraints). The interest related to the HAPP model is that it evaluates the roles of trip chaining and ride-sharing as potentially effective methods to facilitate transportation policy objectives, as well as it provides an indication of the potential of person-based modeling approaches to assess potential travel time savings and accessibility gains. Indeed, the results presented by Recker *et al.* (2001) show that sizable time savings could derive from urban trip makers optimizing their travel (e.g. owing to a trip chaining behavior or by doing ride-sharing).

Another type of person-based accessibility measure is the "relative accessibility" between different types of individuals (Church and Marston, 2003). Indeed, there are some differences in access based upon the type of individual l . People with disabilities travel in the environment using different routes, such that the conception and use of this space differ for different individuals (Golledge, 1993). For example, Church and Marston (2003) analysed accessibility for people with physical disabilities and considered two individuals in their study, one with disabilities and using a wheelchair, and the other without disabilities. They also considered that those two individuals leave the same office (located in i) and go after to the closest coffee cart (located in j) (cf. figure 23). For both people, this coffee cart is accessible in absolute terms. For the individual without disabilities, the route takes approximately 40 seconds, while it takes 3 minutes and 30 seconds (i.e. 210 seconds) for the individual using the wheelchair. Indeed, the path is longer for this latter given that he has to take a less direct route (involving eventually an elevator). Church and Marston (2003) used

then a simple formula expressing the differences in accessibility between an individual using a wheelchair l and an individual without disabilities m :

$$R_{ijlm} = \frac{c_{ijl}}{c_{ijm}} = \frac{210}{40} = 5,25 \quad (20)$$

This formula makes then the ratio between the time travelled by the individual using the wheelchair (c_{ijl}) and that travelled by the ambulatory individual (c_{ijm}) from the office, located in i , to the coffee cart, located in j . Such a ration shows us that the time spent by the individual using the wheelchair is 5,25 times greater than that of the ambulatory individual. Relative accessibility is an interesting measure because it relates the differences in accessibility between different types of users. On the other hand, it helps us in understanding what a physical impairment might represent in the effort required to overcome obstacles in the environment.

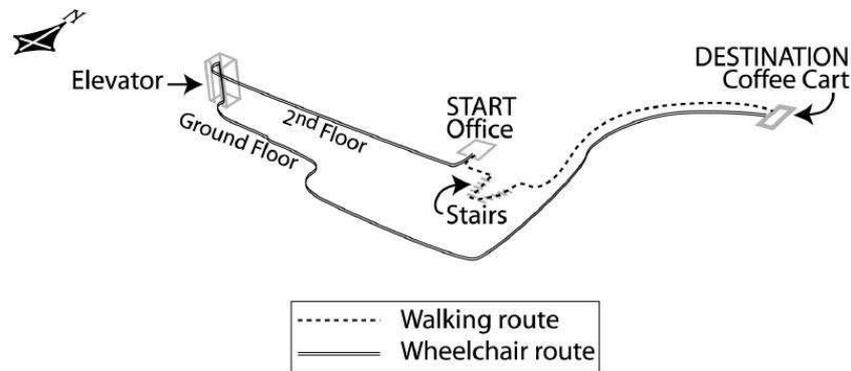


Figure 23: Travel between a start office and the nearest coffee cart, where one individual is ambulatory and the other uses a wheelchair (Source: Church and Marston, 2003).

Note that relative accessibility (between different types of individual) can also be determined for several activities. For example, one can consider that both individuals have to perform several tasks during the work day, such as to make four times the travel to the photocopy machine, to give a few reports to the secretariat, or to take their lunch. Church and Marston (2003) sum then the accessibility (expressed in time and noted c_{ij}) over all these types of activities j ($j = 1, \dots, n$) and associate this to the frequency performed for each type of activity (f_{ij}). They obtained the following formula:

$$R'_{ijlm} = \frac{\sum_{j=1}^n f_{ijl} \cdot c_{ijl}}{\sum_{j=1}^n f_{ijm} \cdot c_{ijm}} \quad (21)$$

Here, the ratio is only relevant when the frequency of activities performed by the individual of type m is the same that this performed by the individual of type l ($f_{ijl} = f_{ijm}$). In this case, the relative accessibility makes not only the comparison between an individual of type m and an individual of type l , but it also incorporates the effects of spatial accessibility differences based on the repetition of specific activities (Church and Marston, 2003).

Main advantage of person-based measures is related to the fact that they satisfy almost all theoretical criteria. Such measures have a great ability to reveal differences in individual accessibility, whereas previous activity-based measures give a same accessibility level to all persons (Kwan, 1998). Indeed, such a space-time approach includes a large range of factors (transport, land-use, individual, and organisational) which influence a person's access to activities (i.e. his ability to take part in necessary or desired activities). Moreover, in the case analysed by Church and Marston (2003), it seems that space-time measures can be relevant for determining the influence of barrier removal across a particular network. A last advantage is that those measures are not based on a single origin and account for the sequence of activity, which makes them able to express a complex travel behavior (e.g. multistop and multipurpose trips).

Nevertheless, the major problem with person-based measures is related to the operationalisation and the communicability ; indeed, they depend on a large amount of information about activities and trips and it is faced with a lack of feasible operational algorithms (Pirie, 1979 ; Kwan, 1998). Pirie (1979) noted that “incorporating temporal elements into measures of accessibility makes severe demands on data, a consideration which effectively excludes time-space measures of accessibility from ... all but the smallest scale research or planning projects”. Consequently, it is understandable that the applications are relatively rare or often restricted to relatively small areas and small subsets of the population. It is thus difficult to aggregate the results to evaluate accessibility to population groups and on a high geographical scale (Geurs and Ritsema van Eck, 2001 ; Geurs and van Wee, 2004).

According to Pirie (1979), other disadvantages of the measure are that they are best applied retrospectively and that they have an unwarranted property of all-or-nothing. Besides, person-based measures focus on the demand side only (e.g. they account for time restrictions of individuals only) and do not include capacity constraints of activities. Thus, as basic potential measures, competition effects are not included whereas it could be relevant for certain situations, such as for studies analysing job accessibility (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

3.2.4. Utility-based accessibility measures

Founded in economic theories, utility-based measures regard accessibility as the outcome of a set of transport choices, all satisfying the same need (Greene and Liu, 1988). In this context, utility theory can be used to model travel behaviour and to measure the net benefits that individuals derive from the transport system (i.e. it measures the net benefits derived from the access to spatially distributed activities). Consequently, such an approach estimates the accessibility at the individual level and accounts not only for users' characteristics (e.g. income), but also for modal characteristics (e.g. travel costs) (Banister and Berechman, 2000 ; Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

The main assumptions on which is based the utility approach are defined by Koenig (1980). Firstly, people associate a cardinal utility with each alternative they are facing and choose the alternative associated with the maximum utility. And secondly, the utility can be represented as the sum of a non-random (deterministic) component and a random (stochastic) component. Indeed, it is not possible to evaluate all deterministic factors affecting the utility associated with each alternative, that is why it is more realistic to add a random component. Note that deterministic factors (also called the “systematic utility”) consist of observable attributes of the alternative and characteristics of the decision-maker which are assumed to influence the

decision. On the other hand, the random componed (also called the “disturbance”) represents the unobservable part of the utility function (Dong *et al.*, 2006). Consequently, a stochastic specification of utility U attached to a person n (located at i and travelling to j) is (Geurs and Ritsema van Eck, 2001):

$$U_{ij} = V_{ij} - \beta \cdot c_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (22)$$

where V_{ij} = utility or value of making the trip between i and j for the person n ¹⁶
 c_{ij} = costs of the trip (e.g. travel costs, travel time, waiting time)
 β = cost sensitivity parameter
 ε_{ij} = random term, or “disturbance”¹⁷

Specifying such an utility function requires the incorporation of variables representing the attributes of each choice, reflecting the attractiveness of the destination and the travel impedance, the socio-economic characteristics of the individual (or household), and individual tastes and preferences (Handy and Niemeier, 1997).

An interesting example illustrating how useful utility-based measures are for measuring accessibility is given by Domencich and McFadden (1975). In their work, they presented the following utility function:

$$U = -0,147.TW - 0,0411.TT - 2,24.C \quad (23)$$

where TW = total walk time
 TT = total travel time (expressed in minutes)
 C = travel cost (expressed in dollars)

This utility function appeared to describe correctly the choice between car and bus for 93 % of the household considered in the sample ($R^2 = 0,93$). In other words, 93 % of the choice may be explained by the factors incorporated in the utility function. Our interest is often related to the ratio between the coefficients because it can be used as an accessibility measure. For example, the ratio $(-0,0411 / -2,24) = 0,0183$ \$ per minute indicates that the consumer would be willing to pay 0,0183 \$ for reducing his travel time of one minute (and 1,1 \$ for reducing it of one hour, which is not negligible). Thus, such a ratio can be a relevant accessibility measure, estimating the benefits derived from a transport improvement (e.g. due to the implementation of a faster bus service, more buses, or less bottlenecks).

In our context, a simple definition of accessibility based on utility theory is given by Ben-Akiva and Lerman (1979), which assumes that each alternative k (e.g. mode of travel or destination) in a choice set has total utility U_k and that each individual n will select the alternative that maximises this total utility (Geurs and Ritsema van Eck, 2001 ; Dong *et al.*, 2006). In other words, it means that an individual attributes an utility value to each destination and that the likelihood of an individual to choose a particular destination depends on the utility of that choice compared to the utility of all other choices (Sonesson, 1998). Formally, accessibility A is then defined as follows:

$$A_n = E (\max U_k) \quad (24)$$

¹⁶ V_{ij} is deterministically known.

¹⁷ Such a random term is usually assumed to be identically and independently Gumbel distributed (Dong *et al.*, 2006).

where E is the expected value. This value can be interpreted according to two different ways:

- either, as a measure of spatial surplus in the context of the location of public facilities (Leonardi and Tadei, 1984)
- or, as an accessibility measure or the preference of a given accessibility pattern (Ben-Akiva and Lerman, 1979). For example, one can imagine that the road will be the preferred alternative because of a better accessibility pattern than in the other modes.

A more complex definition is derived from the denominator of the multinomial logit model, also known as the logsum (Handy and Niemeier, 1997 ; Sonesson, 1998). It asserts that accessibility of a person n (A_n) can be interpreted as the benefit that an individual living in area i derives from access to activities D (located at j) and given the travel cost c_{ij} (Neuburger, 1971 ; Wilson, 1976 ; Williams, 1977 ; Leonardi, 1978 ; Ben-Akiva and Lerman, 1979 ; Small, 1992):

$$A_n = \frac{1}{\beta} \ln \sum_{j=1}^n D_j e^{-\beta \cdot c_{ijm}} \quad (25)$$

where β is a travel cost sensitivity parameter. Note that this measure is expressed in travel cost units.

Given that they are founded in economic studies, utility functions are directly linked to traditional microeconomic theory which is based on the assumption that consumer preferences may be used to derive the net benefits associated with a particular option. Particularly, several authors note a correspondence between the expected maximum utility E ($\max U_k$) and the consumer surplus¹⁸ (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

In addition to this relationship with microeconomic theory, the utility concept can also be related to the activity-based approach. Indeed, several activity-based models are based on principles of utility-maximising behaviour and estimate the utility or benefit perceived by an individual by implementing an activity programme¹⁹. In this context, the expected maximum utility of the activities within the space-time prism can be specified in the following form (Burns, 1979 ; Hsu and Hsieh, 1997 ; Miller, 1999):

$$U = \frac{1}{\beta} \ln \sum_{k=1}^m e^{(a_k^\alpha T_k^\mu e^{-\beta t_k})} \quad (26)$$

where U is the benefit of the space-time prism defined by fixed activities i and j and time budget ($t_j - t_i$), $a_k^\alpha T_k^\mu e^{-\beta t_k} = u_{ij}(a_k, T_k, t_k)$ is the utility of participating in an activity at location k , a is the attraction of the activity location, T is the time available for activity participation, and t is the travel time required.

A more recent study driven by Dong *et al.* (2006) also used a so-called “activity-based measure”, which is based on the principles of the utility theory. In their paper, they compare the properties and performance of the activity-based accessibility (ABA) measures with traditional measures of accessibility. An ABA measure corresponds to a measure of

¹⁸ The consumer surplus is a classic benefit measure in microeconomic theory. It is defined as the difference between what a consumer is prepared to pay for a quantity of goods and the amount he or she actually has to pay.

¹⁹ A caution must be taken here by emphasizing the fact that activity-based measures are not the same than those evoked by Geurs and Ritsema van Eck (2001).

accessibility to all activities in which an individual engages, incorporating scheduling constraints and travel characteristics such as trip chaining. Such a measure reflects the impact of socio-economic factors such as auto ownership, employment status, income, and household structure on accessibility. Advantages related to these measures are that they capture taste heterogeneity among individuals, they combine different types of trips into a single measure of accessibility, and they reflect the impact of scheduling and trip chaining on accessibility. Traditional utility-based measures do not have such advantages because they focus on one particular trip purpose, without trip chaining and without considering the time component (Dong *et al.*, 2006).

Another approach, called the “doubly constrained entropy model”, includes competition effects by incorporating balancing factors. Such an approach is formulated as follows (Martínez, 1995 ; Martínez and Araya, 2000):

$$A_i = -\frac{1}{\beta} \ln(a_i) \quad (27.a.)$$

$$A_j = -\frac{1}{\beta} \ln(b_j) \quad (27.b.)$$

$$A_{ij} = -\frac{1}{\beta} \ln(a_i b_j) \quad (27.c.)$$

where A_i , A_j and A_{ij} are accessibility measures representing respectively the expected benefits per trip generated, per trip attracted, and for the trip between i and j .

Even if the utility concept of accessibility has been largely developed in the literature, it is not very often used in empirical applications (Martellato *et al.*, 1995). An example of application is given by Koenig (1980), who analysed accessibility changes as a result of road investment alternatives in Le Mans (France). More recently, Niemeier (1997) and Handy and Niemeier (1997) have used the consumer surplus as an accessibility measure to estimate the value that people attach to job accessibility.

Main advantages of the utility-based accessibility measures are that they have a sound theoretical basis because of a direct link to traditional micro-economic welfare theory. Utility-based measures are thus clearly relevant for social and economic evaluations of transport projects. Moreover, they have a better behavioural basis than the basic potential accessibility measures. Indeed, utility-based measures represent accessibility of individuals **at** a location, whereas potential measures describe accessibility **of** a location and assume that all individuals have the same accessibility level in the same location. In this way, it represents accessibility according to individual preferences and it captures taste differences. Finally, a last advantage is that it does not lead to unrealistic results when aggregating individual accessibility (in contrast to the basic potential measures) (Geurs and Ritsema van Eck, 2001 ; Geurs and van Wee, 2004 ; Dong *et al.*, 2006).

However, such measures are characterized by numerous disadvantages. Indeed, utility-based measures are not easily interpreted and refer to relatively complex theories (e.g. consumer’s surplus or behavioural models of destination choice) ; such measures are thus difficult to communicate to planners and decision makers (Koenig, 1980). Moreover, as a result of this complexity, it demands extensive data on locations and individual’s travel behaviour, as well as their choice sets (Baradaran and Ramjerdi, 2001). According to Handy and Niemeier

(1997), different utility functions are not easily comparable by region (or neighbourhood). Furthermore, values obtained for A_n are difficult to interpret in terms of accessibility because it gives a total utility V_{jn} which aggregates the utility \tilde{V}_j intrinsic to the characteristics of destination j (e.g. attractiveness of an activity), the utility \tilde{V}_n intrinsic to the individual traveller n (e.g. influenced by socio-economic characteristics), and a residual utility \tilde{V}_{jn} representing the “effort of the transaction” involved when individual n chooses to access destination j (Sweet, 1997). Then, the total utility V_{jn} is composed by three partial utilities and can be defined as follows:

$$V_{jn} = \tilde{V}_j + \tilde{V}_n + \tilde{V}_{jn} \quad (28)$$

According to Sweet (1997), the partial utility \tilde{V}_{jn} (also called the “centred logsum”) seems to be a more appropriate measure of accessibility because it represents a travel component.

3.3. Accessibility measures for freight transport

3.3.1. Introduction and components of accessibility for freight transport

Most of measurements defined previously are often focused on the accessibility for passenger transport, and very little about freight transport although it might be more relevant for peripheral regions. A review of the literature reveals that the majority of publications on accessibility measures is applied for passengers. Indeed, little has been written and is known about accessibility for freight transport ; compared to passenger transport, much less studies focus on freight transport accessibility (Geurs and Ritsema van Eck, 2001 ; Spiekermann and Neubauer, 2002 ; Thomas *et al.*, 2003). Such a shortcoming is due to the restricted availability of data concerning this type of transport. However, accessibility measures used for freight transport are relatively similar to accessibility measures applied for passenger transport. Furthermore, components defining the concept of accessibility are the same than those used for passenger transport, and empirical work has demonstrated that road accessibility by using cars or trucks is strongly correlated. Car accessibility can then be used as a proxy for truck accessibility (Spiekermann and Neubauer, 2002). The only drawback to use it as a proxy is that there is a major difference between the two types of transport about units (or impedance) used for the measurements: usually, travel costs are more relevant for freight transport than travel times (used for passenger transport).

Generally, travel costs used for freight transport correspond to a generalised cost including costs for vehicle operations, handling costs, commodity inventory costs, fixed costs for vehicles and for workers during (un)loading and transshipping operations, labour costs for goods handling at origin and destination, congestion costs at certain points of the network (Thomas *et al.*, 2003). For example, Beuthe *et al.* (2001) used generalised costs in a GIS-based model of the trans-European multimodal network (i.e. incorporating railways, waterways, and roads) and restricted their study to freight transportation in Belgium. Developed with the NODUS software (also see Jourquin, 1995 ; Jourquin and Beuthe, 1996), the model considers that all modes, means of transportation, as well as loading, unloading, transshipping and transiting operations are associated with a “virtual link” (cf. figure 24). The set of these virtual links forms a fictitious multimodal network, or “virtual network”. Such a model is based on a detailed analysis and comparison of the costs involved in each transport

solution, mode, transport means and route²⁰. Indeed, appropriate cost functions are attributed to each virtual link defined by a particular operation in the transportation chain. Given a point-to-point O-D matrix per group of commodities, the model minimises then the generalised cost (resulting from the sum of the costs attributed to the virtual links) by an optimal assignment of the transport flows between modes, type of vehicles and routes, including intermodal combinations. In other words, it measures the cheapest combination of modes, means and routes, and consequently assigns the flows to each commodity.

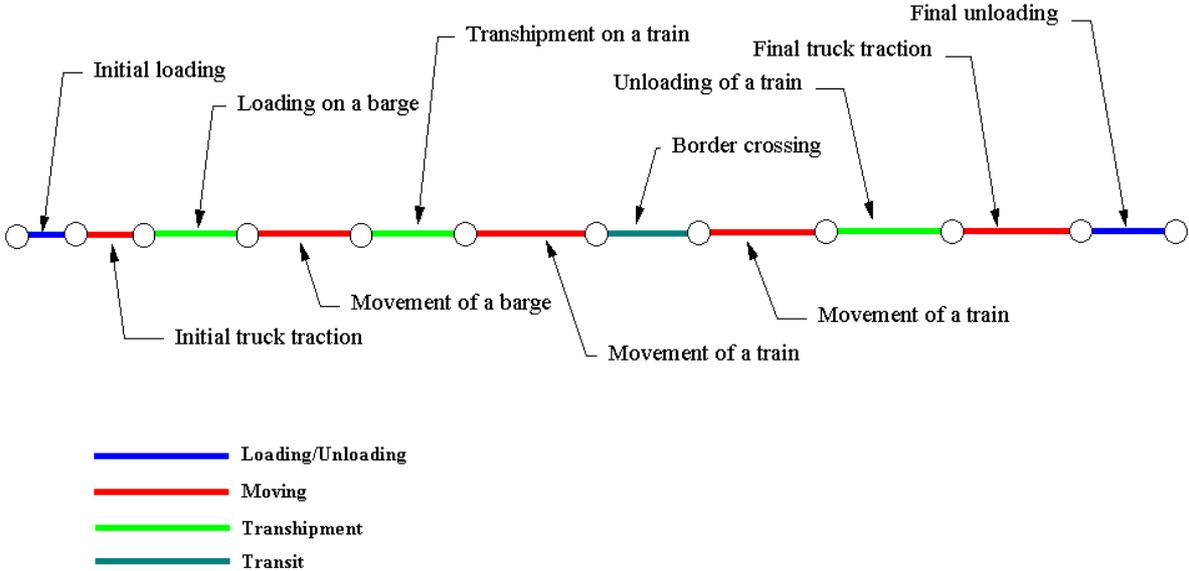


Figure 24: An exemple of a transportation chain (Source : Projet Nodus, <http://www.fucam.ac.be/Pages%20personnelles/Jourquin%20Bart/site/nodus/fra/index.php>)

Note that metric characteristics of the networks (e.g. the distance between nodes, expressed in kilometres) can also be used to determine accessibility for freight transport. But travel costs are preferred to distance in kilometres because they can bring us closer to the economic considerations of freight transport decision-makers. In Belgium, Thomas *et al.* (2003) demonstrated, however, that the time-consuming task of collecting and aggregating all transportation costs in the form of a generalised cost does not reveal any major differences for freight transport, compared with the use of metric distances (the correlation coefficient was equal to 0,957 for the road network, and 0,971 for the rail network and for waterways). Indeed, the use of travel costs not only requires a lot of extra-work but it also results in minor and local differences compared with kilometres.

As well as it is the case for the passenger transport, the first component defining accessibility is the **transport component**. It includes time (e.g. waiting times, loading times, transshipment times, congestion and unloading times), costs (e.g. fixed and variables costs, labour costs) and qualitative aspects (e.g. reliability, accident risks, damage risks, information). Another component is the **land-use component** of accessibility, reflecting the magnitude, quality, and character of the origins and destinations of freight travel. In other words, it describes the spatial distribution of production, consumption (dwellings), and freight distribution activities.

²⁰ Note that qualitative attributes (e.g. reliability, or safety) are indirectly included in the model by means of a calibration of this latter with respect to observed flows on the main links and aggregate market shares (Beuthe *et al.*, 2001).

Moreover, the *temporal component* describes the travel time (or cost) variation due to differences between peak and off-peak hours, between days of the week, or between seasons.

Finally, the evaluation of accessibility for freight transport depends also on the *individual component* of accessibility, which plays a key role by reflecting the characteristics of individual firms. Indeed, those value accessibility vary differently according to their characteristics (e.g. size of the firm), their logistic organisation, and the characteristics of produced products. Concerning the characteristics of produced products, accessibility depends heavily on the type of good transported. For example, if containers are transported by shipping mode (intercontinental), accessibility of a firm handling container ships depends on the depth of the port where this firm is established (in this context, we talk about “maritim accessibility”). Other factors playing a key role in the accessibility of this firm are e.g. the size (width and length) and the number of locks to go through, or the crane size handling container ships. Given that the port of Antwerpen has a restricted water depth, many container ships have more and more difficulties to go through it because of their great size (which increases more and more since 1960, reaching more than 8.500 teu in 1998 so that their size is too important to access to certain ports). Consequently, the type of good strongly affects the importance of accessibility. Note that they can be categorised in several ways, e.g. by means of the ABCD categorisation or the concept of “logistic families” (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

On the one hand, the ABCD categorisation classifies the goods according to their economic value per m³ and volume per packaging unit. Indeed, every tonne of good do not have the same weight, or value (Charlier, 1998). In the ABCD categorisation, the goods are classified as follows:

- A-goods : low value products with a large volume per packaging unit (e.g. bulk goods)
- B-goods : high value products with a large volume per packaging unit (e.g. vehicles)
- C-goods : high value products with a small volume per packaging unit (e.g. electronics)
- D-goods : low value products with a small volume per packaging unit (e.g. clothing)

For example, Rotterdam handles partly bulk goods (or A-goods). Those products have not only a low added value, but also the storing and all firms related with this type of good extend on a large area of the port. Once discharged and stored in tanks, bulk goods can be transported by means of inland shipping or by pipeline (e.g. the Rotterdam-Antwerp Pipeline, or RAP). Another example is Zeebrugge, which is the world’s greatest port handling vehicles. As a result, added value for this type of good is high, but the area devoted to vehicles is also high (e.g. parkings where vehicles are stored).

On the other hand, the concept of “logistic families” is a categorisation based on the logistic behaviour of firms, for which goods are classified according to their value density, their packaging density, their perishability, their delivery time (in days), their shipment size, and their demand frequency (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

Although valuation of accessibility depends heavily on the type of good produced, the common practice in freight transport focuses on the stratification of accessibility by economic sector (e.g. industry, services), but not by type of good.

3.3.2. Adaptation of accessibility measures for freight transport

In the literature, accessibility measures used for freight transport are essentially infrastructure-based measures, activity-based measures, and utility-based measures. As well as in the context of passenger transport, *infrastructure-based measures* analyse the observed or simulated performance of the transport infrastructure. Indicators used in this approach can be the same as for passenger transport. An example of study using infrastructure-based measures is given by Mathis (2000), who estimates travel time accessibility for heavy trucks from selected origins (Rotterdam, Ruhr Area, and Antwerpen) to several European cities. Other examples are the estimation of lorry travel times to the nearest road-rail freight terminal, and the estimation of rail travel time to certain economic centres in Germany (Lutter *et al.*, 1992).

Concerning the *activity-based measures*, they are generally used as indicators for the size of the market area of facilities. The difference with accessibility measures for passenger transport is that different travel times (or costs) and different distance decay functions are used for freight transport. Examples of contour measures are given by Chatelus and Ulied (1995), who developed several accessibility measures such as the average cost to reach a market area (with a certain population size) by lorry, or the maximum market area that can be reached in two or three days by using the fastest connection (by road, rail, or multimodal travel). On the other hand, many studies use the potential measures to evaluate the freight transport accessibility. For example, Simmonds and Jenkinson (1993 ; 1995) analyse the “market potential” for the manufacturing and distribution sector for 60 regions in Europe. To do this, they used a basic potential accessibility measure with GDP as the destination variable and composite haulage cost (road and intermodal transport) as the distance variable. Another study is made by Visser and Maat (1994 ; 1996), who calculate the number of companies within a certain travel time using a basic potential measure.

Note that some studies have calculated accessibility for freight transport by means of a *combination of infrastructure- and activity-based measures*. For example, Gattuso and Chindimi (1998) have analysed average travel times to selected destinations for the port of Gioia Tauro, in Italy.

Finally, *utility-based measures* analyse the utility or benefit of moving a good from an origin to destinations. Little has been found in the literature about applications on utility-based measures (see Perrels *et al.*, 1999 ; Tavasszy, 1997). This is probably because of the complexity and the lack of usable freight transport models, as well as the fact that the utility variable V_{ij} depends on the type of goods and the characteristics of the individual sending goods (Geurs and Ritsema van Eck, 2001). As a result, practical applications on freight transport accessibility use generally simple measures that are easy to interpret rather than complex utility-based measures.

3.4. Conclusions

In general, we have seen that the purpose of a study will greatly influence the choice of the measure. Among all of these accessibility measures (for freight and passenger transport), the contour measures and the basic potential measures, as well as the integral measures are the most often used in practical applications on accessibility. Indeed, such measures are more or less easily interpretable and require a relatively modest amount of data. Simpler measures (e.g. simple distance measures) fail to adequately address the subject in a theoretically sound

manner. Although infrastructure measures (e.g. travel speed) are easy to interpret and communicate to planners and decision makers, such measures are not very useful for evaluating the accessibility impacts because the land-use (or spatial), the temporal, and the individual components are not incorporated in the measure.

On the other hand, more complex measures such as utility-based or person-based measures (for passenger transport) use a better theoretical basis and have the advantage to incorporate the behavioural point of view (for person-based measures). Utility-based measures overcome several major drawbacks of infrastructure-based measures and are consequently very useful for evaluating the accessibility impacts of transport investments and decisions. Person-based measures overcome also certain shortcomings and are very relevant for social evaluations. Nevertheless, this theoretical superiority found for both utility-based and person-based measures makes them more difficult to operationalise and more demanding on data, thus restricting studies to small areas and subsets of the population. Availability of data is thus an important factor in the choice of the appropriate measure in an accessibility study (Baradaran and Ramjerdi, 2001).

Concerning passenger transport, several approaches also account for competition effects. Usually, they are relatively complex and their choice will depend on the research context. If no competition effects occur to destinations or if those competition effects are not a subject of interest, then an integral, a contour, or a potential accessibility measure will be applied. On the contrary, if competition effects occur on destination locations (e.g. the capacity of supplied activities is limited, or the potential population is substantially greater than the job potential), then Joseph and Bantock's measure will be more appropriate for analysing accessibility to destinations. Finally, when competition occurs on both origins and destinations (e.g. for jobs), the inverse balancing factor method will be used for analysing accessibility.

In our context taking into account the accessibility to locations and to transports, one can see that **potential measures** seem to be the most appropriate for both passenger and freight transports. In addition, for the former (and more particularly for public transports), **integral measures** could be very useful to evaluate the impacts related to the network structure and to the way with which the network is exploited, thus reflecting disparities as regards territorial equity. Other approaches more complex on which we can focus us for passenger transport are the **inverse balancing factor methods**, and **person-based measures**. In general, there are numerous studies using those measures and analysing accessibility to destinations such as jobs, retail, health and public services (e.g. bus). On the other hand, person-based measures are most often used for analysis of accessibility to non-work destinations (e.g. public services, shops and schools) (Geurs and Ritsema van Eck, 2001). Regardless to the approach, those four measures are also most relevant to measure accessibility in general. Such an assertion is illustrated in Table 2 (cf. below), established by Geurs and van Wee (2004).

Accessibility measure	Examples of applications	Components ^a					Operationalisation ^b	Interpretation ^b	Usability for evaluation ^c	
		Transport	Land-use		Temporal	Individual			Economic impacts	Social impacts
			Demand	Supply						
<i>Infrastructure-based measures</i>	Linneker and Spence (1992), AVV (2000), DETR (2000)	±	-	-	±	-	+	+	±	-
<i>Location-based measures</i>										
• Contour measure	Ingram (1971), Wickstrom (1971), Wachs and Kumagai (1973); Black and Conroy (1977), Guy (1983)	±	±	-	±	-	+	+	-	-
• Potential measure	Stewart (1947), Hansen (1959), Vickerman (1974); Linneker and Spence (1992), Handy (1994)	+	+	-	±	±	+	±	±	+
• Adapted potential measures	Weibull (1976), Shen (1998), Knox (1978); Joseph and Bantock (1982), Van Wee et al. (2001)	+	+	+	±	±	+	±	±	+
• Balancing factors	Wilson (1970, 1971), Geurs and Ritsema van Eck (2001, 2003)	+	+	+	±	±	+	±	±	+
<i>Person-based measures</i>	Miller (1991), Kwan (1998), Recker et al. (2001)	+	+	-	+	+	-	-	-	+
<i>Utility-based measures</i>										
• Logsum benefit measure	Koenig (1980), Sweet (1997), Niemeier (1997); Handy and Niemeier (1997)	+	+	-	-	±	+	±	+	+
• Space-time measure	Miller (1999)	+	+	-	+	+	-	±	+	+
• Balancing factor benefit measure	Martínez (1995), Martínez and Araya (2000)	+	+	+	-	±	+	±	+	+

^a Score: + = criterion satisfied; - = not satisfied; ± = partly satisfied.

^b Score: + = easy to operationalise or interpret; - = difficult; ± = moderately difficult.

^c Score: + = usable as indicator; - = not usable; ± = (potentially) usable as input for computations.

Table 2: Summary of review of accessibility measures (Source: Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

4. The key role of accessibility as an intermediate, economic and social indicator

4.1. Introduction

As previously said in the chapter two, changes in accessibility resulting from a transport project (e.g. removal of a bottleneck, or investment in a new high-speed link) or policy decisions can have economic and social impacts, as well as important changes in the land use-transport system (as evocated in Fig.2). In other words, any new, extended or improved transport infrastructure may affect the range, the capacity and the cost of movement, effectively providing (positive or negative) changes in mobility and accessibility. Such changes in the transport network will potentially modify economic and social opportunities (Hilling, 1996). This is why the evaluation of accessibility can be used as intermediate, economic, and social indicator. In this section, we will talk about :

- the relationship between accessibility and the changes in the land use-transport system. So, in this case, accessibility plays a key role as an “intermediate indicator”
- the economic impacts of accessibility changes
- the social impacts of accessibility changes

Given that they have socio-economic impacts, changes in accessibility (due to transport or land-use changes) play a key role in transport and urban planning. Accessibility measures can then be used as powerful indicators evaluating the results of policy decisions or experiments directed at better achieving societal and economic goals (Wachs and Kumagai, 1973). Moreover, as illustrated in the next sections, accessibility measures are also used to estimate the benefits that the households and firms in a region derive from the presence and use of the transport infrastructure (Spiekermann and Neubauer, 2002). The aim of this section is then to show how important such measures are for policy makers and planners.

4.2. Accessibility as an intermediate indicator

In many cases, accessibility can play a significant role as an indicator for travel behaviour of individuals, e.g. between their residence and their workplace. Indeed, several authors have empirically analysed *relationships between potential accessibility to activities and travel behaviour* in terms of number of trips, trip length, and kilometres driven. Although household trip generation rates do not seem to be strongly related to accessibility to activities (but to socio-demographic and socio-economic factors), potential accessibility to these activities negatively influences average trip length and kilometres travelled for work and non-work trips (Geurs and Ritsema van Eck, 2001). For example, Handy (1994) observed that shopping distances decrease with increasing potential accessibility. Another example is given by Levinson (1998), who found that households with high job accessibility levels have shorter home-to-work trips.

In addition to the relationship between accessibility and the travel behaviour, there is also a *relationship between accessibility and the land-use*. Particularly, accessibility has, directly or indirectly, always played a key role in urban development (Makrí, 2001). Indeed, several authors state that residence locations behaviour depends on the level of accessibility to activities such as workplaces, shops, public services (Geurs and Ritsema van Eck, 2001). People want generally to live in locations optimising accessibility to various utilities, such as

production, food, family, or health-care and leisure activities (Makrí, 2001). On the other hand, firm locations also depend on the level of accessibility to opportunities such as labour force. Consequently, changes in accessibility levels (due to transport or land-use changes) can have certain impacts on residences and firms (e.g. relocation decisions of residences and firms, or firms may have more benefits or decline) (Geurs and Ritsema van Eck, 2001). For example, Smits and Korver (1993) found that accessibility plays a significant role in location choice behaviour of households, even if other characteristics (such as the housing characteristics) have more influence than accessibility. Another study driven by Borgers and Timmermans (1993) found that the preference for a residential location depends on the characteristics of dwelling and its environment, whereas the characteristics of transportation facilities are less important. Furthermore, according to Vanderschuren *et al.* (1996), the most important variables explaining relocation of households are personal characteristics (accessibility also plays an important role but it is not so important than individual characteristics). Finally, Wagtendonk and Rietveld (2000) found that among a large set of location factors, accessibility is the factor the most significantly related to residential housing construction.

Besides residence locations, numerous empirical studies have focused on the office and residence prices as a function of accessibility, analysing the relationship between accessibility and prices at certain locations. Usually, offices and new firms choose their location in very attractive and very accessible places, such as urban areas. As a result, such places are often characterised by high prices because of their popularity (attractiveness and high accessibility). It seems then that there is a relationship between accessibility and home and office prices. An example is from Bruinsma (1994), who analysed the relationship between office prices and the proximity to the nearest entry of the Amsterdam Orbital Motorway (for the 1987-1991 period). Given that office prices were significantly related to the distances of the offices to the orbital motorway, he concluded that this same motorway plays a key role in the location of offices in the Amsterdam agglomeration. On the contrary, there was not a clear relationship between the distance to public transport and office prices (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

The hedonic price method is another method for analysing the relationship between accessibility to transport infrastructure and property values. In this more complex method, the price of a property is related to a number of factors, or characteristics. An interesting example is given by Al-Mosaind *et al.* (1993) and Chen *et al.* (1998), who observed that high accessibility to the nearest railway station may increase property values, whereas negative externalities (e.g. sound nuisance) generated by this proximity causes a decreasing in property values. However, positive effects provided by high accessibility to rail dominates the negative externalities, implying that prices decline as distance from station increases. In another study, Kockelman (1997) observed that the travel time “home-work” and the job accessibility are both highly significant in explaining home prices in the San Francisco Bay area (in 1989).

Empirical studies are not the only method for demonstrating that accessibility plays a significant role in location and prices (e.g. for homes and offices). Indeed, several surveys on locational preferences indicate that road infrastructure and accessibility by road are the most important locational factors on the entrepreneurs’ point of view (Wilson, 1982 ; Pellenbarg, 1985 ; NSS, 1991 ; Bruinsma *et al.*, 1996).

In conclusion, we have first observed that travel behaviour seems to be more related to socio-demographic and socio-economic factors than to accessibility to activities. On the other hand, the second interesting point is that even if individual characteristics (of households and firms)

are the most important factors, one can see in the literature that accessibility influences significantly the location choice and the locational preferences for residences and firms (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

4.3. Economic impacts of accessibility changes

Historically, changes in the transportation network have reduced travel times and transport costs, thus increasing the overall competitiveness of the system and allowing for a more efficient production in economic activities (Gutiérrez, 2001). Indeed, regions with a better accessibility to the locations of markets and input materials will be generally more productive, more competitive and, consequently, more successful than areas with a low level of accessibility²¹ (Spiekermann and Neubauer, 2002).

Because of their high degree of peripherality, the Nordic regions face then several economic disadvantages due to their remote location and low accessibility to the main European markets. The major peripheral drawbacks observed for these regions are e.g. high travel costs to participate in European integration, or net-migration losses. Indeed, Spiekermann *et al.* (2002) have previously shown that there is not only a correlation between accessibility and economic performance (in terms of GDP per capita), but also a correlation between accessibility and net-migration changes ($R^2 = 0,41$). For example, most Finnish, Norwegian and Swedish regions having low accessibility values (such as rural areas) are characterized by net-migration losses²². Such inconvenients due to the peripherality have solutions: they can generally be overcome either by accessibility changes (e.g. due to transport improvements), or by national assets and policies in the fields of education, Research and Development (R&D), and innovations (Spiekermann and Neubauer, 2002).

Here, only accessibility changes and their economic impacts will be evoked. In this case, improvements in accessibility due to transport changes can then result in benefits for people and firms. An example might be the construction of a motorway between the two towns *A* and *B*, in order to have a high-speed link to replace the dangerous local roads. The change in the transport infrastructure results in a wide range of benefits, such as a reduction in the travel costs, a greater convenience to make the travel, less congestion on local roads, more destinations within the reach in the same time, less accidents (and consequently, less productivity losses), and less sound nuisances in the towns *A* and *B* (but also in other towns located between *A* and *B*). Consequently, transport projects have numerous advantages, giving rise to improved productivity for people and increased efficiency of production for firms. However, even if there are a lot of benefits, such projects may also cause negative effects (or externalities), e.g. destruction of residences and natural habitats, reduction in biodiversity, or increased sound nuisances for certain towns located between *A* and *B*).

As a result, one can assume above that benefits or costs provided by accessibility changes occur to both “users” and “non-users” of transport project. Non-users refer to people living in the vicinity of a transport project and who do not use this latter. Although user benefits can be

²¹ However, there are some particular cases that do not confirm the theoretical expectations. For example, there are a number of successful regions in the “blue banana” that confirm the theory, but there are also some centrally located regions that suffer from industrial decline and unemployment and that do not confirm the theoretical expectations. Furthermore, there are some prosperous peripheral regions in the Nordic countries.

²² And, on the contrary, the Nordic agglomerations characterized by high accessibility values have net-migration rates.

evaluated by the consumer-surplus approach, non-user benefits are often not included in economic evaluations of investment projects. Nevertheless, economists usually split up the non-user value into two parts : the option values and the bequest values (Pearce and Turner, 1990).

On the one hand, option values are goods or services used as substitutes to replace another good or service, or that will be valuable in the future. For example, bus has an option value for those who would use it (especially if the car is broken down). Another example is the impact of transport changes on the entrepreneur's perception, who will be eventually interested to locate his firm in the region (in the future). Introduced by Weisbrod (1964), this concept of option value is not often used in transport studies, but it is frequently used in financial markets and in the valuation of environmental resources. However, an option value could also be applied to accessibility ; indeed, as it could be the case for public transports when the car is broken down, people could also value the (improved) accessibility to destinations which may be used in the future (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

On the other hand, bequest values correspond to some form of altruism want non-users value certain modes and give consequently a basic level of accessibility to activities. Geurs and Ritsema van Eck (2001) define the bequest value as the goods or services for which individuals would be willing to pay to assure that these goods (or services) are available to other people (living now or in the future). For example, public transport may have a bequest value for non-users because they not only make their home accessible to visitors (e.g. family) which do not own a car, but they influence also their benefits when they use another mode (e.g. car drivers give a bequest value for public transports because they may reduce congestion on the road network).

In the economic literature, three basic methods analyse economic impacts of transport changes (e.g. due to investments in the infrastructure): the social cost-benefit analysis, the production function approach, and a method focusing on employment effects of infrastructure investments²³ (Rietveld and Bruinsma, 1998). Each method will be evocated one by one in the next sections of this chapter, showing in the same time the economic impact of accessibility.

4.3.1. The cost-benefit analysis

In the practice, planners and decision makers often wonder if a public investment project must be realized or not. In addition to this question, they also have to evaluate if the project has more advantages than disadvantages for population. So, the cost-benefit analysis has been developed for answering to such questions. In short, it thus analyses the change in the social welfare for all individuals as a result of an investment project. Its main objectives are (1) to evaluate if an investment project is socially profitable for people, and (2) to choose an optimal size for a predefined project or the "best" project (among a large set of projects) (Jurion B.).

Widely used in various countries, the cost-benefit analysis makes the sum of the benefits that current and future population derive from the project and compares it with its cost. Even if the project has not yet been realised, its benefits can be measured as the user's willingness to pay, or the maximum price they would be willing to pay to obtain the project. However, all

²³ Note that these three methods are partly complementary, partly overlapping, and partly conflicting (see Rietveld and Bruinsma, 1998 or Geurs and Ritsema van Eck, 2001 for more information).

individuals are not necessarily “winners” if the project is realised. Indeed, several inhabitants of a town located in the vicinity of a future motorway might undergo sound nuisances and, consequently, might not be agree with the project. Then, such a project gives generally rise to two opposite positions : the “winners” and the “losers” of an investment project. Winners express their agreement for the project, and the losers express their disagreement against it. Nevertheless, a project can not satisfy everyone and, thus, can not be based on the Pareto criterion.

According to Pareto, a state of the economy is preferred to another if the transition from the second one to the first one can be carried out by increasing the level of utility (or satisfaction) of certain individuals (one of them at least) without decreasing the level of others (Jurion B. ; Jacquemin *et al.*, 2000). Consequently, the implementation of an investment project can not depend on the Pareto criterion, because only the unanimously approved projects would be carried out in this context.

So, the cost-benefits analysis will be based on another criterion, the Hicks-Kaldor criterion, which only compares the costs and the benefits without any consideration for individuals who would undergo losses. According to this principle, a state of the economy is preferred to another if winners of the first state (or the preferred state) are likely to compensate losers while deriving a net benefit at the end of such an operation. In other words, benefits of the winners have to compensate and to be greater than losses of the losers (Jurion B.).

Given that transport changes provide some benefits for the individuals using the new infrastructure, it would be interesting to estimate those latter for thus obtaining a measure of accessibility changes generated by the project. In this context, the principle of consumer surplus is the most commonly used to evaluate user benefits²⁴. This surplus is defined as the difference between the price consumers (or users) would be willing to pay for the good or service and the price they actually pay. Consequently, total benefits of a project (due to accessibility changes) correspond to the change in consumer surplus.

To illustrate this concept of consumer surplus, the construction of a motorway between our two cities *A* and *B* is a good example highlighting the benefits generated by accessibility changes. Assume that 800.000 cars travel currently on a small local road connecting *A* and *B*, and that the price of each trip is equal to 1.200 monetary units (e.g. cost of the fuel, wear, travel cost, risks incurred by the travel on the local road). The establishment of a motorway may then decrease this price to 900 monetary units owing to travel time savings, a less fuel consumption, a less wear of the car, and a reduction of the risks incurred by the travel (it reduces the number of accidents and, consequently, the number of deaths). Given that each travel is less expensive, the number of travels realised each year increase from 800.000 to 1.200.000.

In Figure 25 (below) illustrating the demand curve²⁵ for the number of travels between *A* and *B* in relation with the travel cost, consumer surplus corresponds to the area ACP_1 . After the construction of the motorway, the travel cost decreases to 900 monetary units and the surplus becomes the area ADP_2 . As a result, the net gain for the community is equal to the area

²⁴ This principle is also called *Marshallian consumer surplus* after Marshall (1920), whereas the original idea dates back from Dupuit (1844).

²⁵ Note that it is assumed here that factors likely to influence the demand (e.g. the consumer income or the price of other transport modes) are unchanged. Such factors cause a displacement of the demand curve. Consequently, a more realistic estimation of benefits should account for the evolution of demand.

P_1CDP_2 , which includes both the benefits derived by individuals who travelled yet before and the benefits realised on new travels between A and B (and eventually the benefits derived by new travellers). Then, transport investments induce an economic impact and accessibility changes which can be evaluated by the increase in consumer surplus. For this example, the social benefit obtained is evaluated to 300 millions monetary units (per year).

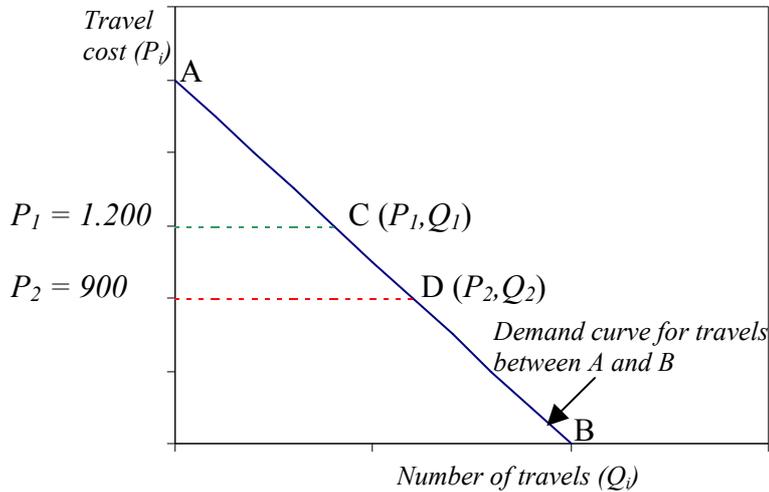


Figure 25: The consumer surplus

In addition to this simple method, many other complex approaches using utility-based theories exist for estimating the consumer surplus derived from a project. Indeed, an example is the difference between the logsum of two situations, e.g. a “before” situation without motorway and an “after” situation with a motorway. In other words, it makes the difference in expected maximum utility between a base situation V^1 and a scenario reflecting a transport change V^2 . Such a method takes thus into account the changes in accessibility. The difference in consumer surplus is formulated as follows:

$$\Delta CS = \ln\left(\sum_k e^{V_k^2}\right) - \ln\left(\sum_k e^{V_k^1}\right) = \ln\left(\frac{\sum_k e^{V_k^2}}{\sum_k e^{V_k^1}}\right) \quad (29)$$

Note that other more complex formulations exist and are derived from the equation above (see Geurs and Ritsema van Eck, 2001). In many studies, it was observed that the use of utility-based theories have important benefits compared to standard cost-benefit analysis. Indeed, it accounts not only for the benefits of an improved transport network, but also for the changes in the physical location of land uses (whereas cost-benefit analysis only accounts for the benefits derived from an improved transport network). Furthermore, balancing factors of the doubly constrained model can be integrated in the measure of consumer surplus, thus accounting for competition effects on the demand and supply side. Nevertheless, a major disadvantage is that the correct use of utility-based approaches for evaluating consumer surplus (derived from a transport project) requires a transport model which forecasts a combined equilibrium between transport and land-use.

4.3.2. The production function approach

Also used for evaluating economic impacts of changes in accessibility, this approach gives an overview of the contribution of transport infrastructure to productivity. So, production functions are used to estimate the impacts of infrastructure on the performance (usually in terms of GDP) of specific sectors of the economy. Indeed, infrastructure changes can be the result of an increase in productivity, which makes possible a reduction of costs for the collection of inputs and the distribution of outputs, provides economies of scale, as well as it improves the functioning of markets (Geurs and Ritsema van Eck, 2001). An example of study is from Prud'homme and Lee (1999), who suggested for Paris and other French cities that transport infrastructure improvements increasing travel speed by 10 % on the network would widen the labour market and, in turn, increase productivity by about 3 %.

Another study realised for the European Commission within the framework of the European project SASI ("Socio-Economic and Spatial Impacts of Transport Infrastructure Investments and Transport System Improvements") analysed the relationships between large transport investments and socioeconomic development in Europe (Fürst *et al.*, 1999 ; Fürst *et al.*, 2000 ; Wegener *et al.*, 2000). The SASI model is a recursive simulation model focused on the socioeconomic development of 201 European regions subject to exogenous assumptions about the economic and demographic development as well as the transport infrastructure investments and improvements in European Union. It includes six forecasting submodels, which are the following: European developments, Regional accessibility, Regional GDP, Regional employment, Regional population, and Regional labour force (cf. figure 26). Note that a seventh submodel calculates socio-economic indicators with respect to efficiency and equity. The aim of the SASI model is then to forecast for each region the development of accessibility, GDP per capita, and unemployment until the horizon 2016. In the regional accessibility submodel, three basic accessibility measures were implemented:

- An *average travel time or cost* is measured from each raster cell to a predefined set of destination (cities with a population greater or equal to 250.000 or 1.000.000 inhabitants).
- A *daily accessibility* is measured as the accumulated population or GDP that can be reached from a raster cell by a certain mode during a work day with a minimum stay of 5 hours
- A *potential accessibility* is measured as the sum of reachable destination activities (in terms of population or GDP) weighted by a negative exponential function²⁶ of travel time or cost by a certain mode.

²⁶ Note that this impedance function uses two different impedance parameters β (0,003 and 0,007) for estimating the potential accessibility.

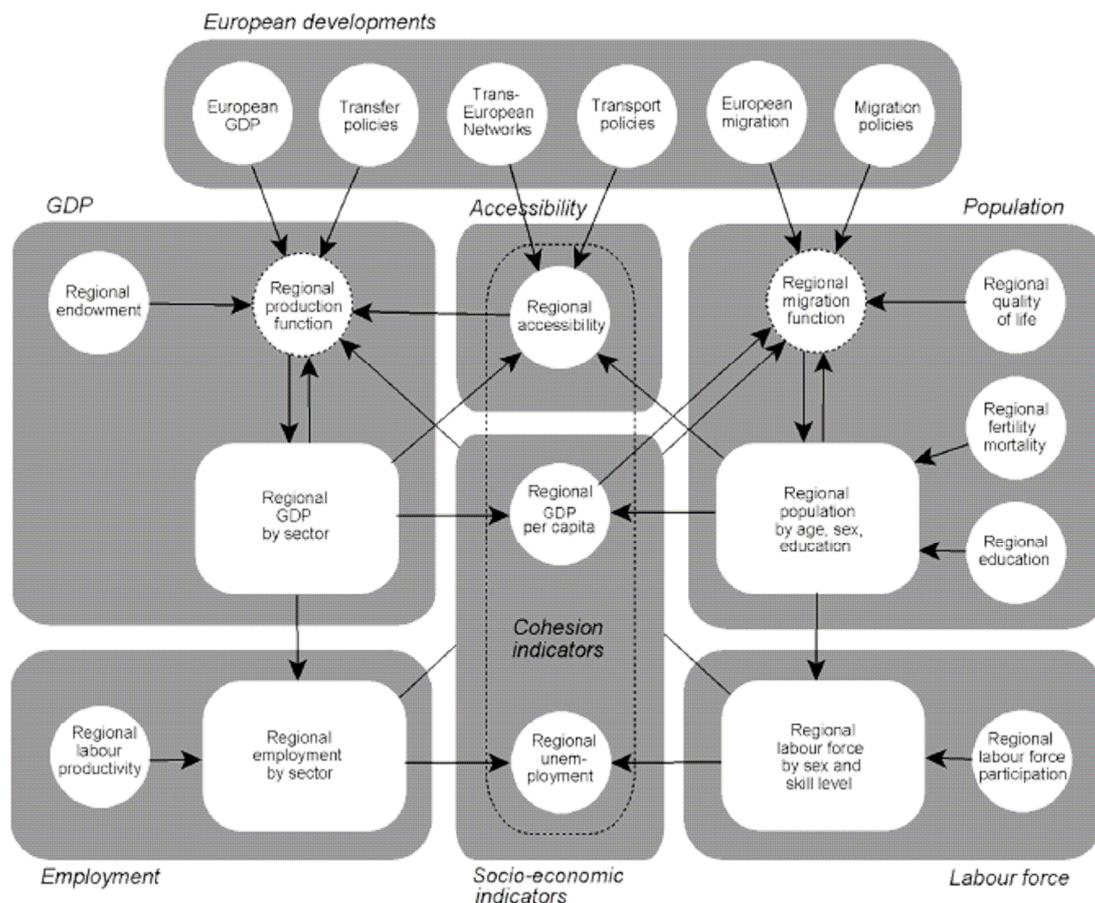
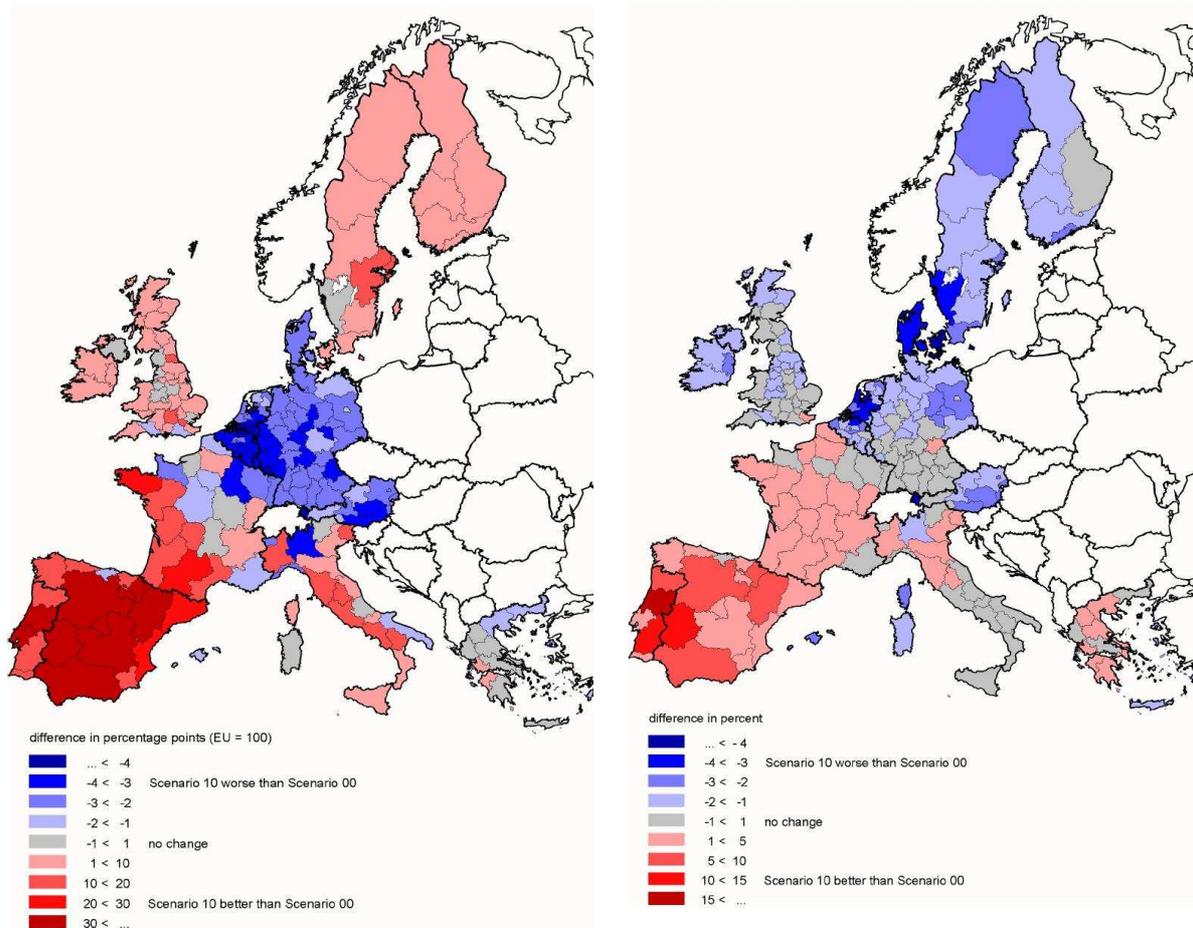


Figure 26: The SASI Model (Source : SASI, <http://www.srf.tuwien.ac.at/Projekte/sasi/sasi.htm>)

Some interesting conclusions of the SASI model concern the impact of infrastructure changes on economic performances. So, we can observe that *relative* losses can be expected from Trans-European Networks (TEN) investments in the central regions (Benelux), whereas most of the peripheral regions (particularly in the Southwest of Europe) benefits of the most positive effects. As a result, it was observed that those TEN investments might translate into regional economic performances (positive changes in GDP) for peripheral regions, whereas central and northern regions encounter relative losses in GDP (cf. Figures 27 and 28).

Consequently, such a study is a good example highlighting that infrastructure investments may have some positive impacts on economy. As evocated in economic theory, transport infrastructure improvements (such as those due to the TEN investments) can, *in principle*, trigger economic growth, increase productivity, reduce costs of production (favouring economies of scale), or unlock peripheral locations for development (e.g. the Southwest of Europe in the case of the SASI model). However, as evocated in the introduction, those beneficial economic effects due to transport investments are not always guaranteed because they are strongly dependent on local circumstances and conditions (e.g. a favourable political context) (Banister and Berechman, 2001). Generally, transportation is a necessary condition for the development but not a sufficient condition. Other factors must contribute to favour the economic growth and development of a predefined area.



Figures 27 and 28: Changes in accessibility (left) and in GDP per capita (right) as a result of the TEN investments (Source : Fürst *et al.*, 2000)

4.3.3. Employments effects of infrastructure investments

Employment is often a subject of prime interest for policy makers, especially in periods or regions with employment problems. Such an approach based on employment is then usually used in countries where job creation is necessary and where structural unemployment is high. This interest is derived from the fact that infrastructure investments (such as those made for the Trans-European Networks) may have temporary and non-temporary employment effects on the demand side. Non-temporary effects are e.g. employment during the construction phase, and temporary effects are e.g. employment derived from infrastructure maintenance. Furthermore, infrastructure investments can result in productivity gains, which reduces output prices and in turn increases consumer income. Consequently, more money is available and is spent by individuals on buying other products, which creates new jobs in the region (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

Although infrastructure investments have positive impacts on employment, negative impacts on this latter also exist. Indeed, if increased labour productivity derives from transport developments, less workers would be needed to produce a given level of output and a reduction in employment would occur as a result. On the other hand, impacts of infrastructure investments on employment are usually temporary and distributive, as well as they are not very significant. For example, Bruinsma *et al.* (1997) and Rietveld and Bruinsma (1998) have

analysed the relationship between motorway construction, regional employment, and potential accessibility to employment in the Netherlands (period 1970-1990). They observed that there was no clear impact of a change in accessibility (caused by the construction of the motorway) on overall employment²⁷ (*ibidem*).

4.4. Social impacts of accessibility changes

Accessibility changes due to transport investments can also have social impacts. According to Geurs (2000) and Geurs and Ritsema van Eck (2001), those changes have direct and indirect impacts on individuals or groups of individuals. For example, reduction of the traffic in a city (e.g. as a result of a policy decision, as in London or Stockholm) can reduce health problems caused by emissions or noise. Indeed, during thermic inversion periods as this we knew in Belgium at the first week of February 2006, emissions effects can be particularly harmful for elderly people²⁸ and it was again of prime interest to reduce traffic congestion in the large Belgian cities (such as Brussels or Antwerpen), especially by means of the implementation of urban tolls or adapted pricing policies. Other (positive) consequences provided by a traffic reduction are an increased mobility of public transports and a better traffic safety in the city (e.g. less accidents), as well as an improvement for disadvantaged groups, e.g. people with disabilities, the elderly, pedestrians, and cyclists (considered wrongly as “weak users” in countries such as Belgium). So, the magnitude of accessibility changes due to transport investments generally varies from one specific group to another. Note that all social impacts are not necessarily positive ; negative impacts can also result from certain policy decisions, e.g. equity problems due to the implementation of urban tolls. Usually, only individuals with high incomes can afford the toll price, which disadvantages low wage workers.

Jointly with urban planning, changes in the transport network can also have social impacts on the potential mobility and the quality of life. For example, Baron Haussmann (19th century) renewed the structure of Paris by replacing old districts by others, which include higher apartment buildings surrounded by wide streets. This project increased accessibility and enabled more people to live in a healthier and more aesthetic city. Another example is given by the period of the functionalism, during which urban planners constructed tall buildings with an optimal height and separated by large areas containing a well developed network of wide roads surrounded by green areas. In this situation, the urban ideal was to provide healthier living conditions and increase accessibility by means of raising traffic standards (Makrí, 2001).

Changes in accessibility involving social impacts for individuals are not always related with large transport investments (such as the construction of a new high-speed line or a motorway). Indeed, relatively small investments in the transport network can also improve as much the quality of life for the inhabitants living in a particular area. By “small” investments, one means here e.g. the reduction of traffic congestion in major urban centres, or the reduction of the number of traffic lanes in favour of the installation of pedestrian crossings and cycle-paths for residents and pedestrians. Such investments have social impacts such as a traffic reduction in the city centre or an improvement in the quality of life for urban inhabitants, especially for less mobile people and young children. In Belgium, a study driven by Van Herzele and Wiedemann (2003) showed that certain Belgian cities do not have a good accessibility to

²⁷ Which does not mean that there is no impact ! Indeed, there is an impact, but it is not significant.

²⁸ Polluting particles (mostly derived from tire wear and fuels) penetrate in the respiratory tracts and, for the smallest, in blood circulation. As a result, it reduces life expectancy from 12 months to 36 months.

green spaces, which is particularly due to barrier effects caused by not (or not very) permeable barriers, e.g. railways, navigable waterways, or main roads and motorways. For example, no quarter greening is available for about 35 % of the population in Antwerp, Ghent and Aalst, while this increases to 95 % in Kortrijk. The removal of barriers or the increase of their permeability (e.g. by means of the installation of pedestrian crossings) could reduce their effect and increase consequently the accessibility of individuals to green spaces (Van Herzele and Wiedemann, 2003). In such a context, it could be noticed that caution is required when considering transport and planning investments. Indeed, to illustrate this, the widening or the construction of new roads and motorways in a city can increase the accessibility to certain activities (e.g. workplaces) for the individuals living in periphery of the city, while it can also have strong negative consequences when creating new barriers which reduce accessibility of urban residents to (other) activities such as green spaces or leisure areas. As a result, policy decisions related with transport investments should evaluate the costs and the benefits caused by the implementation of a project.

In addition to those impacts on individuals, transport improvements also influence the level of accessibility to activities (e.g. jobs, shops, or hospitals) and have several equity impacts. Given that activities are spatially distributed and that transport system has a well-defined level of service (e.g. capacity of a motorway), such transport changes have an impact on the number of activities reachable from a predefined location. Furthermore, the level of accessibility to activities has also an influence on the standard living and welfare, as well as on the choice of locations where people have to go, i.e. it influences the locations where people choose to live, work, or go to recreate (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

Concerning the equity impacts caused by transport changes, it generally refers to the differences between individuals in costs and benefits derived from the land-use transport system (i.e. the spatially distributed activities and the transport system). In other words, the term corresponds to the fairness in the distribution of goods and services among individuals and to the resulting level of injustice caused by uncompensated losses (Lichfield *et al.*, 1975 ; Friedman, 1984). Several concepts of equity figure in the literature but it is not our aim to index them all. An interesting dimension of the concept is the difference between horizontal equity and vertical equity (Geurs and Ritsema van Eck, 2001). Firstly, horizontal equity requires that those with similar status (i.e. with equal resources, needs and abilities) should be treated in a same way. In other words, horizontal equity states that they should pay the same amount of tax and receive the same amount of benefits. For example, people who pay a certain amount of taxes should get a similar amount of benefits in return. Secondly, vertical equity requires that those with less ability be treated *favorably* relative to those with greater ability ; the distribution of costs and benefits should depend on people's abilities and needs. Consequently, this concept focuses on the allocation of costs and benefits between different groups in the society (e.g. stratified into age, social class, income, abilities, or mobility needs). For example, special public transports (with reduced costs) should be available for disabled and elderly people. Note that vertical equity is also split up into spatial, social and economic equities (Banister, 1998). In particular, spatial equity focuses on the distribution of activities in space (e.g. each part of a town will not have the same accessibility to activities). Social equity focuses on the different abilities and needs for accessibility (i.e. on different groups stratified into age, gender, educational level, or disabilities), and economic equity focuses on economic differences between individuals (e.g. households with low incomes cannot afford a car, so reducing their level of accessibility to activities).

From an equity point of view, a major drawback of standard cost-benefit analysis for infrastructural projects is that they do not account for different income groups (economic equity) or different regions (spatial equity). As a result, Kandel and Poort (2000) suggest to introduce the “Dalton criterion” in CBA. This criterion states that financial compensation (from “winners” to “losers”) is *socially* desirable if:

- (1) the money transfer is from a higher income group to a lower income group
- (2) the relative ranking order of the income groups does not change (particularly for lower income groups)

Consequently, a Dalton improvement occurs if a project improves efficiency (the sum of costs and benefits is positive) and reduces inequalities (by means of a transfer from higher income groups to lower income groups and if the situation for this latter group is not worsened). On the contrary, there is no Dalton improvement if there is either a reduction in efficiency, or an increase in inequalities (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

Before concluding, note that potential accessibility measures seem to be very useful for analysing and taking into account equity. Indeed, vertical equity can be analysed by stratifying the population by socio-economic characteristics (e.g. income, age, gender, or educational level) and by region. An example is from Wachs and Kumagai (1973), who studied potential accessibility to employment and health-care facilities in the Los Angeles County as a function of the spatial location of residence and socio-economic status. Another example is given by Shen (1998), who analysed job accessibility of low-wage workers living in Boston. More recently, Wu and Hine (2003) observed the impact of hypothetical Citybus network changes on accessibility in the Belfast area. This impact on accessibility is analysed on population structure and on different religious communities residing within the Citybus Network area. Results indicate that network changes have a disproportionate impact on older people as well as on other age groups. Other interesting results show that households with no car have a poorer level of accessibility to bus services during the morning peak and off-peak periods. Finally, Lau and Chiu (2004) investigate the accessibility of workers in Honk Kong and incorporate in their model several socio-economics characteristics, such as employment status, income, gender, or marital status. For example, concerning the employment status, it was observed that full time and casual workers spend a longer time travel to work than part-time workers do. The results show that *compact land-use* with efficient integration favours the performance of public transports and improves their dominance for the work travels. Consequently, this better efficiency provides higher levels of equality on accessibility to employment activities than those obtained for cities (or small countries) with dispersed land-use.

In addition to potential accessibility measures, several equity indicators indexed by Schürmann *et al.* (1997) and Fürst *et al.* (1999) can be used to examine if accessibility changes reduce or increase disparities in certain regions: the statistical measures, the ratio's between the 5, 10 or 20 “best” or “worst” regions, the rank-size distributions of accessibility values, the Lorenz distribution, and the Gini coefficient. In particular, statistical measures (e.g. maximum, minimum or standard deviation of regional accessibility values) are used for indicating the degree of homogeneity or disparity. Originally developed by Max O. Lorenz (1905) as a graphic representation of income distribution, the Lorenz curve is here a rank-ordered cumulative distribution of indicator values of regions, and it is often compared with a distribution in which all regions have the same indicator value (also called, “Line of perfect equality”). The Lorenz distribution is used to measure the Gini coefficient, which evaluates the level of inequality between different regions (cf. figure 29). If the area between the line of

perfect equality and Lorenz curve is A , and the area under this Lorenz curve is B , then the Gini coefficient is equal to $A/(A + B)$. Note that the Gini coefficient is often expressed as a percentage or as a numerical equivalent of this percentage (between 0 and 1). A value of 0 indicates that all regions have the same level of accessibility, and a value of 1 indicates that there are strong disparities between the regions (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

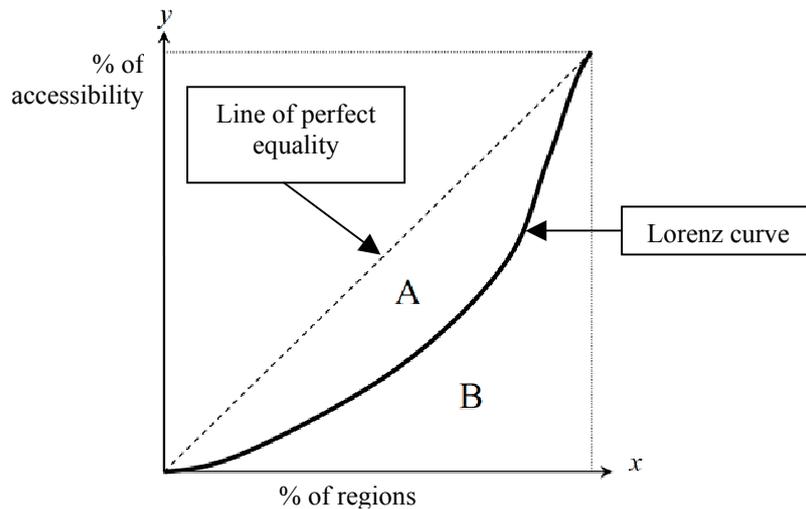


Figure 29: Lorenz curve and Gini coefficient

Empirical approaches are not the only way for evaluating equity impacts. Indeed, Geurs and Ritsema van Eck (2001) emphasize that a normative approach can also be taken in such a context. This approach accounts for fairness and justice concepts, which may be applicable to transports. Several theories of justice exist in the literature, but the most known is the Rawl's theory of justice. The first principle states that "each person is to have an equal right to the most extensive basic liberty compatible with a similar liberty for others", and the second states that "social and economic inequalities are to be arranged so that they are both:

- a) to the greatest benefit of the least advantaged, and
- b) attached to offices and positions open to all under conditions of fair equality of opportunity" (Rawls, 1971).

Other theories are, e.g. the equal shares approach, the utilitarian approach, or the egalitarianism approach (Geurs and Ritsema van Eck, 2001).

5. Belgian and European political contexts as regards accessibility: the great concerns about mobility problems and territorial equity

5.1. Introduction

The aim of this chapter is to analyse what could be currently the main political objectives as regards accessibility. Such a way of proceeding allows us to define the priorities to be implemented in this study, as well as it helps us to precise which indicators could be useful in this task. In a first step, the political context will be approached in a more global way by analysing the European objectives pronounced in the sector of transports. In this context, the main policy guidelines established by the Commission of the European Communities in the White Paper on transports (2001) will be evoked in this report. In a second step, the main priorities and concerns of the Belgian government related to transports and mobility will be described on the basis of political notes and general issues approached during the congress “Rail Meets Road III”, organised the 19th january 2006 on the topic of “The mobility in and around Brussels”.

5.2. The European political objectives: the White Paper on transports

The White Paper on transports – adopted the 12th september 2001 by the Commission of European Communities – establishes an overview on the current situation in transports and presents an action plan including more than sixty measures to be progressively applied until 2010. In this White Paper, the transport system is viewed as a key factor not only for the competitiveness, but also for our commercial, economical, and cultural trades. In addition to the fact that it employs more than 10 million people, this economic sector represents approximately 1000 billion euros in the total expenditure, which is more than 10 % of gross domestic product in EU. As a result, a modern transport system must be sustainable from an economic, social and environmental viewpoint.

Generally, main concerns approached by the Commission are focused on the unequal growth in the different modes of transport²⁹, congestion on the main roads and rail routes in towns and at airports, harmful effects on the environment and public health, and road accidents. Caused by a nonharmonious development of the common transport policy, these problems worsen every day and penalise the users as much as the economy of European countries. In response to this, main objectives developed by the common policy on transports are rebalancing in a more sustainable way the share between transport modes, developing intermodality, fighting congestion, and improving the security and the quality of services. Currently, one of the main stakes is to define common principles establishing a more equitable pricing policy for all transport modes. In a first step, such a pricing policy has to support the use of the least polluting modes or the least congested networks, and in a second step, it has to finance the transport infrastructures (Delepière, 2005).

²⁹ Indeed, the road share in the freight transport was approximately 44 % in 1998, while it was 41 % for short sea shipping, 8 % for rail, and 4 % for inland waterways. In passenger transport, this predominance for road was more marked during this same year, and it accounted for 79 % of the market, while rail and air reached 6 and 5 % respectively.

Note that the White Paper is only a first step and that the success of the common transport policy needs complementary actions in other fields (such as urban planning, social policy, budget policy, or industrial policy) (*ibidem*).

5.2.1. Introduction to policy guidelines of the Commission's White Paper

Based on political, institutional and budgetary foundations for transport policy, the first White Paper on the future development of the common transport policy was published in December 1992. In ten years, the main objective of the document – based on the opening-up of the transport market – has been generally achieved, except in the rail sector. In particular, there are two main advances resulting from the common transport policy. Firstly, there was a significant drop in consumer prices, combined with a higher quality of services and a wider range of choices. Such an advance caused changes in the lifestyles and consumption habits of European citizens. Personal mobility is now considered as an acquired right and it increased consequently from 17 kilometres a day in 1970 to 35 kilometres in 1998. Secondly, results provided by research framework programmes have allowed to develop modern techniques within a European framework of interoperability. Main projects, such as the realisation of the trans-European high-speed rail network or that of the Galileo satellite navigation programme³⁰, have been launched at the end of the 1980s and are now bearing fruit.

However, **the success and the performance of the common transport policy remains very contrasted** because of distortions of competition between modes resulting from a lack of fiscal and social harmonisation. Such distortions explain that the European transport system is currently faced with an unequal growth in the different modes of transport, congestion problems, accidents, and harmful effects on the environment and public health.

In particular, **congestion is a major consequence of imbalance between modes**. It becomes a serious and persisting problem on the trans-European network³¹ and in regions where the economic concentration is high (e.g. urban, industrial or harbour areas), now beginning to threaten economic competitiveness of the EU. Paradoxically, peripheral regions also suffer from their excessive isolation. Yet before, the White Paper on Growth, Competitiveness and Employment (1993) warned that “[t]raffic jams are not only exasperating, they also cost Europe dear in terms of productivity. Bottlenecks and missing links in the infrastructure fabric; lack of interoperability between modes and systems. Networks are the arteries of the single market. They are the life blood of competitiveness, and their malfunction is reflected in lost opportunities to create new markets and hence in a level of job creation that falls short of our potential”. According to a study, external costs of road traffic congestion amount to 0,5 % of Community GDP. If nothing is done between 2001 and 2010, traffic forecasts also show that road congestion will increase significantly by 2010 and that the costs attributable to congestion would raise to 142 %, thus reaching 80 billion euros a year (i.e. 1 % of Community GDP).

³⁰ Beside, the first Galileo satellite, GIOVE-A, has recently been put on orbit the 28th December 2005. Such a programme will be particularly useful for the air and maritime safety.

³¹ To illustrate this problem, note that 10 % of the road network is affected daily by traffic jams, and 20 % of the rail network is classed as bottleneck. Moreover, 16 of the Union's main airports recorded delays of more than a quarter of an hour on more than 30 % of their flights, which results in an extra consumption of 1,9 billion litres of fuel (i.e. 6 % of annual consumption).

Such a situation primarily results from the fact that transport users do not always cover the costs they generate and that the European transport system fails to make optimum use of modes and new technologies. Moreover, the congestion on certain major arteries is partly the result of delays in completing trans-European network infrastructure (because of the lack of public and private capital investments). As a result, only a fifth of the infrastructure projects have been carried out, and more particularly some major projects such as the Spata airport, the high-speed train from Brussels to Marseille, and the Øresund bridge-tunnel linking Denmark and Sweden. The imbalance between modes (and, consequently, the congestion on certain arteries) also results from the fact that more than half of the structural expenditure invested in the transport infrastructure projects favoured road over rail. However, in the new context of sustainable development, investments should be redirected so that priority is given to rail, sea and inland waterway transport.

By the year 2010, it is expected that the demand for transport will continue to raise, thus increasing more and more the problems related to congestion. Two factors can explain this **continued growth in demand for transport**. On the one hand, the determining factor for passenger transport is the spectacular growth in car ownership³², which will especially pursue in the countries of Eastern Europe. On the other hand, the growth for freight transport is essentially due to changes in the European economy and its system of production. In the last twenty years, it has moved from a “stock” economy to a “flow” economy. Indeed, the abolition of borders within the EU has resulted in the establishment of a “just-in-time” or “revolving stock” production system, which might increase the heavy goods vehicle traffic by nearly 50 % over its 1998 level unless major new measures are taken by 2010³³. Moreover, the better links with outlying regions and the strong economic growth expected in the Eastern European countries will also increase transport flows³⁴. However, in these latter countries, the distribution between modes has more and more been in favour of road transport since the 1990s: between 1990 and 1998, road haulage increased by 19,4 % while rail haulage decreased by 43,5 %.

From a point of view of sustainable development in Europe, the Gothenburg European Council formulated the need for an integration of environmental considerations into Community policies and placed the **balance between modes of transport at the heart of the sustainable development strategy**. As stated in the Commission’s November 2000 Green Paper on security of supply, energy consumption in the transport sector represented 28 % of emissions of CO₂ in 1998, and road transport alone accounted for 84 % of the CO₂ emissions attributable to transports. Thus, now with enlarged Europe, there is an urgent need for reducing dependence on oil by using alternative fuels, and improving the energy efficiency of modes of transport.

A simplistic solution emphasized by the White Paper would be to order a reduction in the mobility and impose a redistribution between modes, but this is unrealistic because the Community has neither the power nor the means to set limits on traffic or to impose intermodal transport for goods. Consequently, the best and the most ambitious solution (among three options envisaged by the Commission) might be an **integrated approach** allowing a shift of balance between the modes. This shift can be applied by means of using a

³² During the last 30 years, the number of cars has tripled, with an increase of 3 million cars each year.

³³ Such a phenomenon has been particularly emphasized by the relocation of some industries trying to reduce production costs.

³⁴ In 1998, the amount exported by the Eastern European countries was already more than twice their 1990 volumes and that imported was more than five times their 1990 volumes.

set of measures, which include (1) pricing policies, (2) revitalisation of alternative modes of transport to road, and (3) targeted investments in the trans-European network (especially by way of an investment policy in infrastructure geared to the railways, inland waterways, short sea shipping and intermodal operations).

The objective of shifting the balance of transport must not only be driven in implementing the integrated approach as proposed above, but also in taking **consistent measures at national or local level in the context of other policies**. In particular, it involves the following policies:

- The *economic policy*, which should integrate some factors contributing to increase demand for transport services.
- The *urban and land-use planning policy*, which should avoid unnecessary increases in the need for mobility caused by unbalanced planning of the distances between home and work.
- The *social and education policy*, which should plan a better organisation of working patterns and school hours to avoid congestion on roads
- The *urban transport policy* in major agglomerations, which should strike a balance between modernisation of public services and more rational use of the car.
- The *budget and fiscal policy*, which should achieve full internalisation of external costs and completion of the trans-European network.
- The *competition policy*, which should ensure that opening-up of the market (especially in the rail sector) is not held back by dominant companies already operating on the market and does not involve a poorer quality of public services.
- The *transport research policy* in Europe, which should make the various efforts made at Community, national and private level more consistent.

5.2.2. Principal measures proposed by the White Paper

Among some 60 measures proposed by the White Paper and to be taken under the common transport policy, the principal are the following:

- a) **Revitalising the railways:** Rail transport is the strategic sector (especially for goods) conditioning the success of the efforts to shift the balance between modes. In the White Paper, revitalising the rail sector means competition between the railway companies (but competition needs the implementation of other measures encouraging company restructuring). Consequently, the priority is to open up the markets, not only for international services, but also for cabotage on the national markets (to avoid trains running empty) and for international passenger services.
- b) **Improving quality in the road transport sector:** Road transport plays a key role owing to its capacity to carry goods all over UE with unequalled flexibility and at a low price. Nevertheless, its position is shakier than it might seem. Indeed, this sector only provides narrow margins and certain road haulage companies are thus tempted to practice price dumping and to side-step the social and safety legislation to make up for this handicap. Consequently, measures are required to harmonise and tighten up inspection procedures in order to stop the practices preventing fair competition. In addition, the sector needs parallel measures to modernise the way in which road transport services are operated.
- c) **Promoting transport by sea and inland waterway:** Both underused, short-sea shipping and inland waterway transport could provide solutions to cope with the congestion of

main road arteries and the lack of railway infrastructure (cf. figure 30). The creation of “sea motorways” is one interesting way to revive short-sea shipping, which requires better connections between ports and the rail and inland waterway networks, as well as improvements in the quality of port services. Such “motorways”, or shipping links, can then provide an alternative to bottlenecks such as the Alps, Pyrenees, or Benelux countries. Tougher rules on maritime safety are also required to combat ports and flags of convenience more effectively and to improve social aspects. Concerning the inland waterway transport, its position must be reinforced by establishing “waterway branches” and transshipment facilities, which allows a continuous service all year round. In particular, harmonisation of technical requirements, administrative steps, and social conditions play a key role on the dynamism of this sector.

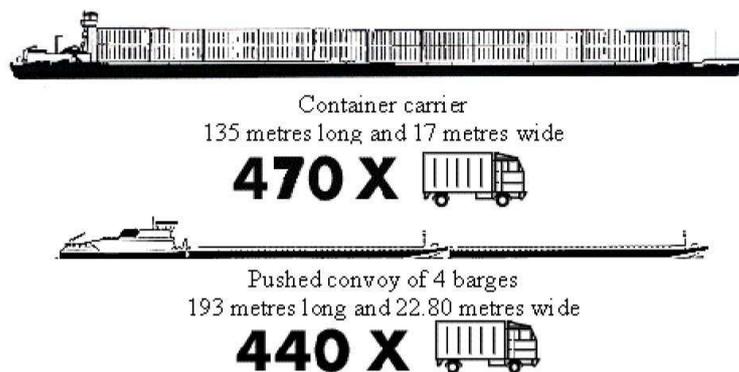


Figure 30: Sea and inland waterway as a solution to cope with the congestion and the lack of railway infrastructure.

- d) **Striking a balance between growth in air transport and the environment:** Europe’s sky must be reorganised to combat the over-fragmentation of its air traffic management systems (causing flight delays, fuel wasting and competitive disadvantages for European airlines). Such a reorganisation must be accompanied by a policy to ensure that the expansion of airport capacity is subject to regulations reducing noise and pollution caused by aircraft.
- e) **Turning intermodality into reality:** The recourse to intermodality is very important for developing competitive alternatives to road transport. This implies that all modes offering considerable potential transport capacity must be fully integrated in an efficiently managed transport chain joining up all the individual services. Measures of technical harmonisation and interoperability between systems are priorities, particularly for containers. In this context, the Community support programme “Marco Polo” plays a key role in shifting freight from the road to more environmentally friendly modes. As illustrated in the figure 31 (but also in figure 30), we can observe that intermodality (e.g. by means of a modal shift to trains and/or barges) makes it possible to reduce in a very significant way the number of trucks on congested arteries.
- f) **Building the trans-European transport network:** The realisation of the trans-European projects is necessary to cope with the saturation of certain major arteries and the consequent pollution. For this reason, current Community guidelines are focused on removing the bottlenecks in the railway network, completing the routes identified as the priorities for absorbing the traffic flows generated by the recent enlargement (particularly in frontier regions), and improving access to peripheral areas (particularly by means of

investments in cross-border railway projects crossing natural barriers, such as the Lyon-Turin line).

Vehicle	Capacity	Truck Equivalency
 Barge	1500 Tons 52,500 Bushels 453,600 Gallons	57.7
 15 barges on tow	22,500 Tons 787,500 Bushels 6,804,000 Gallons	865.4
 Hopper car	100 Tons 3,500 Bushels 30,240 Gallons	3.8
 100 car train unit	10,000 Tons 350,000 Bushels 3,024,000 Gallons	384.6
 Semi-trailer truck	26 Tons 910 Bushels 7,865 Gallons	1

Figure 31: The use of trains and barges as alternative to the road transport and as solution to cope with congested arteries (Source: Rodrigue *et al.*, 2005).

- g) **Improving road safety:** Transport is more and more perceived as a potential danger, but the degree of acceptance of this lack of safety is not always logical for each mode. Indeed, users are generally tolerant towards road accidents while every day the total number of people killed on Europe's roads is practically the same as in a medium-haul plane crash³⁵. Moreover, road accident victims cost society tens of billions of euros, but overall the human costs are incalculable. For this reason and given that road safety is a precondition for alternative modes to the road such as cycling or walking, the EU set itself the objective of reducing the number of victims by half by 2010. An effective way to realise this can be made by means of the harmonisation of signs at particularly dangerous black spots and in harmonising the rules governing checks and penalties with regard to speeding and drink-driving.
- h) **Adopting a policy on effective charging for transport:** Given that not always and not everywhere do the individual modes of transport pay for the costs they generate, there is a dysfunctioning of the internal market and a distortion of the competition within the transport system. In this context, the guidelines of the Commission are focused on a harmonisation of fuel taxation for commercial users (particularly in road transport), on the alignment of the principles for charging for infrastructure use, and on the integration of external costs to encourage the use of modes of lesser environmental impact and allow investment in new infrastructures (particularly those favouring intermodality).
- i) **Recognising the rights and obligations of users:** European citizens' right to have access to high-quality transport services (providing integrated services at affordable prices) will have to be developed and reinforced.

³⁵ Beside, there are some 40.000 deaths on the roads every year, which is equivalent to the population of a medium-sized town such as Bayonne.

- j) **Developing high-quality urban transport:** To face the general deterioration in the quality of life of European citizens (suffering from growing congestion in towns and cities), the emphasis is placed by the Commission on exchanges of “good practice” aiming at making better use of public transport and current infrastructure. Such an exchange requires a better approach from local public authorities to reconcile modernisation of the public service and rational use of the car.
- k) **Putting research and technology at the service of clean, efficient transport:** The European Research Area and one of its main instruments, the sixth framework programme (for the period 2002-2006), provides the opportunity to put the principles of the White Paper into action and to facilitate coordination and increase efficiency in the system of transport research. Indeed, an efficient infrastructure management can be made by means of implementing specific actions on cleaner, safer road and maritime transport, and on integrating intelligent systems in all modes. In this context, the “e-Europe plan action” proposes a number of measures such as the introduction of active safety systems in vehicles. Other priorities are focused on improvements in air safety and aircraft fuel consumption, or on safety standards in tunnels.
- l) **Managing the effects of globalisation:** One of the reasons for the difficulties encountered by the common transport policy is to find its place between the production of international rules within established organisations and often protectionist national rules. World rules aim at facilitating the exchanges and trade but account insufficiently for environment and security of supply. As a result, the EU must be able to manage the effects of globalisation and contribute to international solutions to combat, e.g. social dumping in the road sector or abuse of flags of convenience in the maritime sector. The Union has to promote a system of international transport which takes account of the fundamental requirements of *sustainable, equitable and balanced development*.
- m) **Developing medium and long-term environmental objectives for a sustainable transport system:** To lead to such a sustainable transport system, numerous measures and policy instruments are required, as well as time. The White Paper is only a first stage that maps out a more long-term strategy.

5.2.3. Conclusions

A fundamental decision has to be taken between maintaining the *status quo* and accepting the need for change, i.e. between an easy option which results in significant increases in congestion and pollution (and ultimately in a reduction of competitiveness of Europe’s economy), and a second option which involves the adoption of pro-active measures and regulations allowing to channel future demand for mobility and to guarantee a sustainable development for the whole of Europe’s economy. With the aim of implementing this second choice, the analysis of the White Paper was then focused on:

- the **risk of congestion** on the major arteries and **regional imbalance**,
- the **conditions for shifting the balance between modes**,
- the priority to be given to **clearing bottlenecks** (such as the Alps, Pyrenees, or Benelux countries),
- the new place given to **users**, at the heart of the common transport policy,
- the need to **manage** the effects of transport **globalisation**.

5.3. The Belgian political objectives

In this section, we summarize and describe the main issues pronounced during the Congress “Rail Meets Road III”, as well as the main policy guidelines approached by Renaat Landuyt (Belgian federal Minister for Mobility) in its general political notes (Mobility 2004-2005 and 2005-2006)³⁶. The aim is still focused on the definition of the priorities for this study, but this time on a more national and regional scale (particularly for the Region of Brussels-Capital).

5.3.1. General political notes: main issues as regards mobility

Currently, the mobility and the viability of the traffic are priorities for the government, which has the objective to reduce the traffic and its negative consequences. In particular, the road congestion is at the heart of the concerns with which the government is confronted. In the first political note (2004-2005) written by Renaat Landuyt, mobility is considered as a right that the authorities must guarantee as a service to the community through public transports. This service includes four missions: security, sustainability, basic mobility, and better management in the relation citizen-authority. Firstly, the **safety** as considered in the political objectives assumes that the safety on roads, at sea and in the air must be improved. Moreover, it also means that the transport chain must be made safe against the aggressions and terrorism. By **sustainability**, the Belgian government considers that the environment must still be able to fill the needs relative to the growth of the various modes of transport, as much for the space available for the roads, railways, ports and airports that for the environmental impact due to these activities. A third aim targeted by the government is to guarantee a **basic mobility** and, consequently, to ensure that the different modes of transport are accessible for everyone to improve the participation in the community. Each mission can be better achieved by means of an **improved service and management** provided by the authorities to the inhabitants and transport operators.

Currently, the Belgian government emphasizes the spectacular growth of mobility, which increases at a same rate as the economic growth. During the year 2003, the total number of kilometres travelled by all users of all modes of transports reached approximately 134 billions km, while it was 87 and 47 billions km in 1980 and 1960 respectively. In particular, there are some concerns about the car since it is the main mode of transport in Belgium, with 82 % of the total of travels achieved by means of motor vehicles (while public transports represent only 7,7 % of this total). Although it is slower, the growth of the automobile park is still a great concern in Belgium. In addition to the fact that the number of individual cars and buses has increased (by 0,70 % and 1,97 % respectively ; cf. figure 32 for individual cars), the average travelled distance has also been characterised by an ascending evolution during these twenty last years (cf. figure 33).

³⁶ Note that some relevant facts come from the general political note 2003-2004, written by Bert Anciaux (in the past, Minister for Mobility and Social Economy).

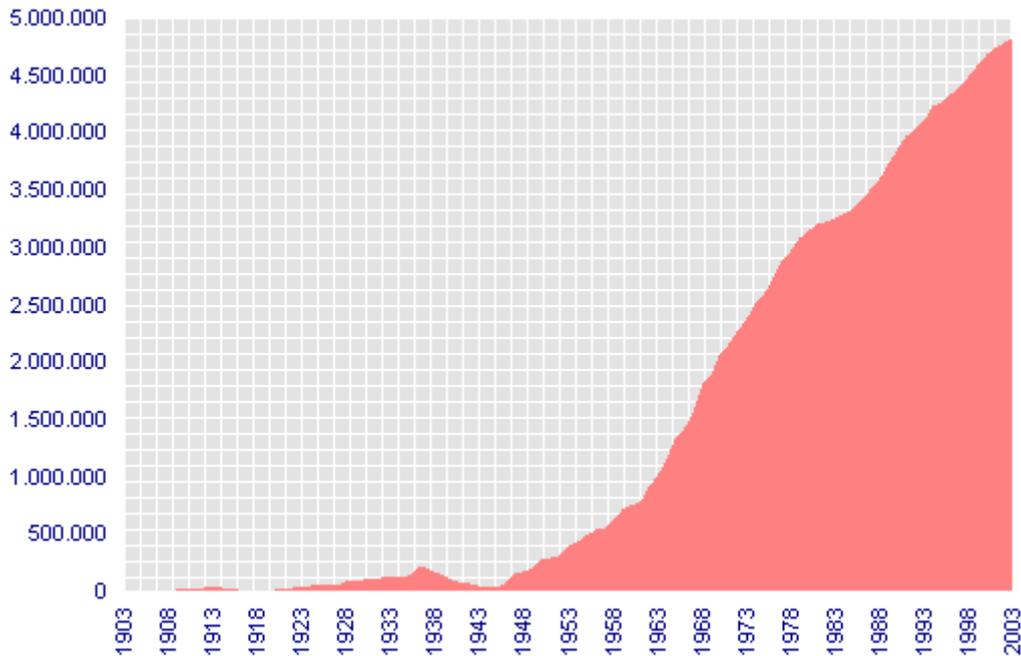


Figure 32: Growth of the automobile park in Belgium between 1903 and 2003 (number of individual cars) (Source : INS)

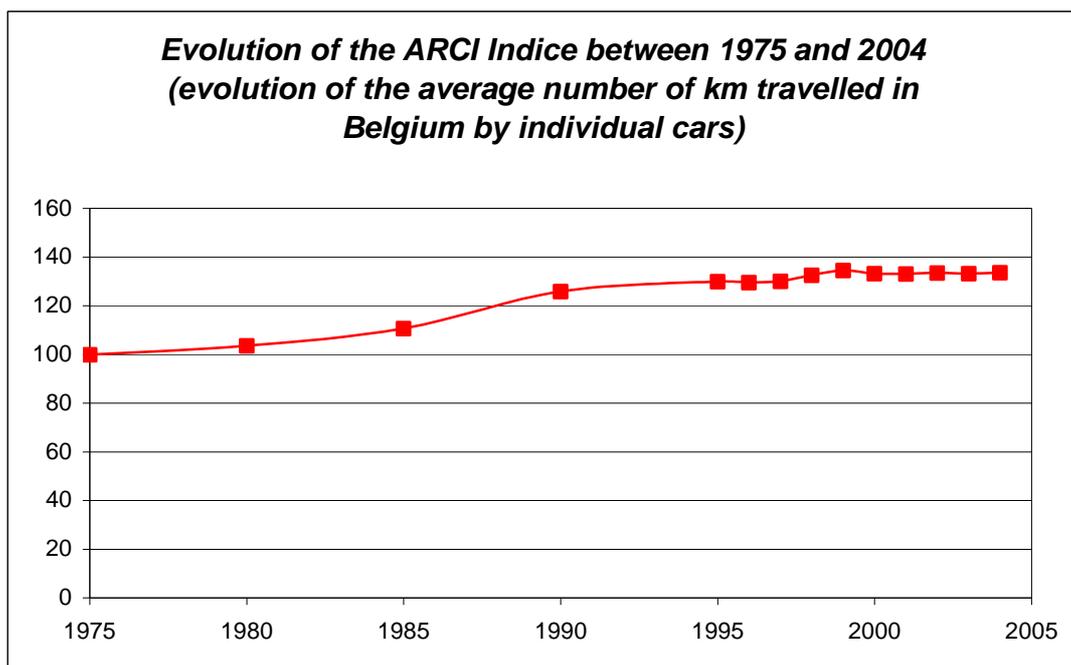


Figure 33: Evolution of the ARCI indice in Belgium for Belgian individual cars (Source: SPF Mobilité et Transports)

The same phenomenon was also observed for the freight transport on roads, for which the number of trucks and tractors has increased by 2,74 % during the year 2003. The share of the road into the growth of freight transport is important compared to the other modes of transport: in 2002, 70 % of the freight was transported by road, while it reached 12,9 % by rail, 14,3 % by means of waterways and 2,8 % by pipelines. Beside, the growth of freight

transport by road is approximately equal to 600 % during the period 1960-2002, while it only reaches 201 % for all modes during this same period. In the political note, the transport related to the transit of goods in Belgium has also its importance in the growth of mobility. Indeed, it represents approximately 10 % of the freight transport in Belgium and it has thus also a negative impact on accessibility, on quality of life and on road safety.

This unequal growth of mobility and of quantities transported by road resulted in an increase of the road traffic in Belgium (e.g. between 2002 and 2003, the traffic on highways increased by 1,04 %), which has a number of negative effects such as road accidents, congestion, social disparities as regards mobility, consequences on the economy, and environmental impacts.

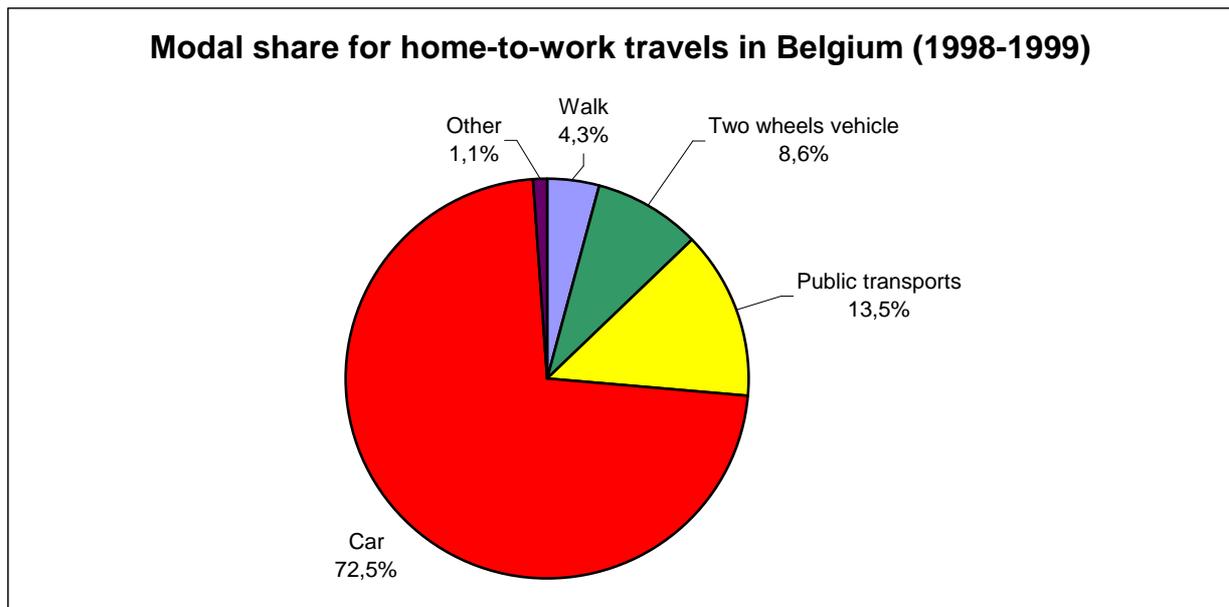


Figure 34: Modal share for home-to-work travels (Source: SSTC, 2001)

In the general political note of 2004-2005, the Minister for Mobility also emphasized the key role of travel purposes (such as working, going to school, shopping, ...) and the fact that, during a normal day, $\frac{3}{4}$ of the people have one or other reason to move. He also reiterated the fact that, according to the national enquiry on the mobility of households (SSTC, 2001), the car is the most often used mode of transport to make the travel between the house and the workplace (cf. figure 34). Indeed, approximately 73 % of the Belgian people go by car to their work, while 14 % use the public transports (in particular, 7 % go by train, and 7 % by tram or bus), 9 % go by means of a two-wheels vehicle and 4 % walk to their workplace.

The kilometres-travellers made in Belgium during the year 2002 also show the importance of the car in the modal share of transports: public transports reached 24 billions of km-travellers in 2002, while it reached 110,9 billions of km-travellers for the car. Finally, another problem illustrating the preponderance of the car in the pendular traffic is the reduction of the number of inhabitants by vehicle: during the period 1999-2003, this number has dropped from 2,23 to 2,15. Another interesting fact is that only 1,1 individuals are recorded by car.

Other topics and objectives approached in the political notes (2004-2005 and 2005-2006) concern the access of individuals and the impact of mobility on environment and on public health. Indeed, transports – and more particularly the road – have a strong impact on the

environment through emissions related to their use. They release mainly greenhouse effect gases, which causes a global climatic change, and other polluting gases having a more local effect on the environment. The road transport is the mode which has the greater impact on the environment since it generates approximately 77 %, while it reaches only 2,4 % for the rail transport. Mobility also has negative effects on public health, especially through road accidents, noise harmful effects, and air pollution. As regards access to mobility, the political notes generally talk about the fact that a certain number of people does not have a car to travel (19 %), mainly because of disabilities or financial reasons. As a result, these individuals are faced with mobility problems when they want to travel to their workplace or to leisure places, which reduces their participation to the community.

Finally, a last point described in the two political notes (2004-2005, 2005-2006) concerns the fact that priorities should be given to investments in an infrastructure allowing a **sustainable mobility** and a **better safety on roads**³⁷. In this latter case, the political objectives aim to reduce the number of victims by 33 % for this year (2006), and by 50 % for 2010. To achieve this, the government mainly focuses its measures on the young drivers, which are the most often implied in road accidents (especially during the night and the weekends). Other measures implemented to improve the road safety in Belgium are also taken as regards freight transport by road, mainly through road controls (checking speed and transported volumes). Such measures have not only beneficial effects on road safety, but it also improves the conditions relative to the competition into the sector as well as it ensures correct working conditions for lorry drivers. Moreover, the simplification of the road code and the launching of public awareness campaigns through the Belgian Institute for Road Safety also contribute to improve the road safety in Belgium. In addition to the safety on roads and as regards other modes, **security in transports** is also an objective emphasized by the Minister for Mobility. Generally, it concerns not only the protection against the terrorist attacks for air, maritime and inland transports, but also the reinforcement of security in the rail transport through an inspection service. Indeed, 80 % of the people questioned already felt in insecurity in a public transport.

Concerning the objective of sustainable mobility, the government tends to apply the “STOP principle”, meaning that the priority is given to the use of the less polluting modes (which are the most adapted to a sustainable mobility). Through this principle, the government thus intends to take some measures improving the safety and the comfort of walking, bicycle, and public transports (and, to a lesser extent, of individual transports). Moreover, the public transports will be still promoted by means of campaigns (e.g. day TTB, Mobility Week, or extension of the rail within the framework of the RER) and measures aiming to increase their commercial speed. Besides, the conscientious use of the car is also emphasized in the two political notes: on the one hand, the most efficient and environmentally friendly cars will be supported by means of the implementation of tax incentives, and on the other hand, the employer providing company cars to its employees will be constrained to pay social security contributions (for each vehicle). Those latter will be calculated according to the amount of CO₂ emissions produced by the car.

In addition to the STOP principle, other concepts and measures were also approached, especially through the support of the commuting, the development of a National Plan for a

³⁷ Note that safety is also an objective for the other modes of transport (air, rail, sea, and inland navigation), but to a lesser extent than for the road.

Sustainable Mobility³⁸, the implementation of a “bicycle Plan”, the application of an enquiry based on the pendular traffic between the home and the workplace, or the launching of public awareness campaigns. As regards freight transport, intermodality as well as the promotion of the rail, inland and maritime transports are also essential to support a more balanced distribution of flows³⁹. And this is all the more significant as Belgium is located at the heart of the trans-European network. Concerning the transport of passengers by means of public transports, the objective is to guarantee a basic mobility for each inhabitant owing to a principle of integrated mobility (i.e. facilitating the transfer from a mode to another and thus, ensuring a relay between the various regional companies of public transports). Within the framework relative to the mobility and to the Kyoto agreements, the travel home-to-workplaces has been made free for the members of the federal personnel and for the autonomous public companies. Finally, the implementation of the program “Regional Express Network” (RER) in and around Brussels has to resolve current mobility problems related to the daily travels between the capital and its periphery. Parallel measures (e.g. pricing integration, availability of parking spaces near the stations, or improvement of the conditions related to the intermodality and the complementarity of transports) will also be taken to ensure that the modal substitution is held under correct conditions.

5.3.2. Main issues approached during the Congress “Rail Meets Road III”

Organised the 19th January 2006 by FEB, FEBIAC and the SNCB group⁴⁰, the Congress “Rail Meets Road III” approached the topic of “The mobility in and around Brussels”. Although the Region of Brussels and its periphery are only a restricted part of the Belgian territory, current problems related to mobility and accessibility in and around the capital constitute, however, a major challenge on the scale of Belgium. Besides, such problems can eventually be very representative of the situation observed for other places and can give some ideas to implement in this report.

The main issues and concerns discussed during this Congress were the subject of an article written by Michèle Pans, in the socio-economic letter monthly published by the Central Council of the Economy (CCE). This section constitutes a summary of what was written in this article and aims to emphasize the main challenges, objectives and concerns as regards mobility and accessibility on the territory of Brussels and within its periphery.

In a first step, this Congress aimed to suggest various prospects in order to undertake actions facing with increasing traffic in and around Brussels and with resulting problems (e.g. congestion, air pollution, or noise harmful effects). In a second step, the objective of the Congress was to encourage, reinforce and make converge any initiative, study or project allowing a rapid and sustainable improvement of accessibility and mobility in Brussels. Finally, the last objective was focused on a share of mobility experiences undertaken in societies and cities which have allowed an improvement in their environment, public image and welfare.

³⁸ In particular, this plan aims to create a system of circulation and transport for which safety, sustainability and functionality play a key role.

³⁹ In particular for the freight transport by rail, a public assistance is required to avoid that the road transport becomes more interesting than the rail and that 300.000 intermodal transport units (ITU) are transported by road.

⁴⁰ And also in collaboration with De Lijn, TEC, and STIB

a) Introduction: the reasons of the current modal choice and the expectations

In the CCE letter, Michèle Pans first presented the main results obtained in the enquiry driven by Cathy Macharis (VUB) on the “Choice of transport and expectations of commuters”. Undertaken between the 16th march and the 20th april 2005, this enquiry questioned adults (i.e. having more than 20 years) travelling between their house and their workplace, which is located in Brussels. The aim was to precise the factors determining the choice of those adults for one mode of transport and not for another. To give a small outline on the current situation, 365.000 people go each day to Brussels, and approximately 650.000 work in the city and travel daily during the peak hours. The average distance between the house and the workplace is equal to 31 kilometres, which corresponds to an average travel time of 43 minutes. Generally, the questioned adult leaves his house on average at 7h39 and closes the door of his office at 16h55 (cf. figure 35). Among all of those commuters moving to Brussels, 11,1 % have a company car and 38,2 % receive a reimbursement (i.e. an allowance) for travelling with the car.

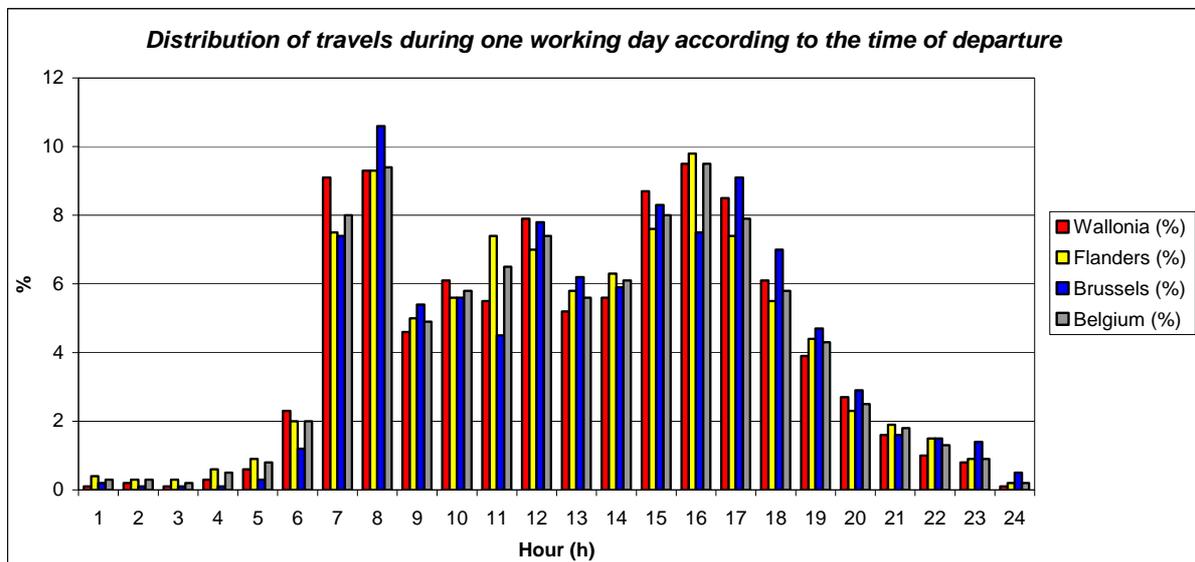


Figure 35: Distribution of travels during one working day and according to the time of departure (Source: SSTC, 2001)

In the enquiry driven by Cathy Macharis, it was pointed out that the main criterias favouring the use of the car are the following:

- 1) 23,9 % of the questioned commuters think that the **speed** is a good criteria to use the car as transport to the workplace.
- 2) 18,6 % of the commuters think that the **communications of public transports** are **bad** or not appropriate.
- 3) 13,7 % of the commuters think that **the car is more “flexible”** and has an easier access than the public transports.

However, according to the enquiry, it seems that there is a real potential for modal change, from car to public transports. Indeed, 49,2 % of the commuters daily faced with the congestion do not exclude to give up the car to use then public transports. And if this latter is made free, approximately 11 % would use the public transports, while more than 37 % would consider a modal change. On the contrary, the demand for public transports is perfectly

inelastic as regards commuters having a company car, i.e. the same “quantity” Q of public transports would be demanded regardless of their price. In other words, those commuters do not really have a motivation to do the modal change ; indeed, 34 % of them do not exclude the change, while only 7,2 % would immediately give up their company car if public transports are made free.

Thereafter, the enquiry provides other interesting results, which indirectly illustrate the key role of accessibility in the modal choice. Thus, the main reasons (except for the price) retaining commuters to use the public transports are the following:

- 1) 47 % of the questioned commuters think that the public transports have a **lack of communications and links**.
- 2) 40,8 % of the commuters think that public transports have a relatively low speed and that **their use lengthens travel time** to the workplace.
- 3) 29,4 % of the commuters announce that the **workplace is not accessible (or not easily) by means of public transports**.

Better connections and a higher speed for public transports (i.e. better levels of accessibility to the workplace) are, consequently, the essential components making them attractive for commuters. In addition to the three reasons mentioned above, other aspects discouraging commuters to use the public transports are – by descending order of importance – the **schedule** (25,7 %), the **frequency** (23,8 %), the **punctuality** (23,6 %), the **comfort** (23,5 %), the network of public transports (13,8 %), the cleanliness (11,8 %), the reliability (11,8 %), the lack of security and safety (8,3 %), and the availability of informations (3,1 %). Even if those latter aspects are improved in the future, 28,8 % of the drivers who hesitated or did not consider the public transports still exclude the modal change (from car to public transports), while 23,3 % would immediately give up the car and 47,9 % would consider a change. With the assumption of an improvement of those aspects, drivers with a company car are still those who do not want to do the modal change: 47,8 % of the drivers who hesitated or did not consider the public transports still refuse unconditionally any change. Only 16,4 % would be agree to do it and would immediately give up their company car, and 35,8 % would eventually change their habits.

On the basis of another point of view, the main reasons for which the public transports are used can also be analysed. By descending order of importance, those reasons are the following:

- 1) 20,7 % of the users of public transports want to **avoid congestion** on roads
- 2) 18,8 % of the users consider the **speed of public transports** as an advantage, allowing them to spare time
- 3) 17,3 % of the users mention the **low cost** of public transports

Although 71,9 % of the users are satisfied about the public transport they use, several aspects still have to be improved according to them, especially the punctuality (41,4 %), the capacity (30 %), the frequency (27,2 %), the correspondences (26 %), the cleanliness (22,9 %), the cost (20,9 %), the speed (19,7 %), the comfort (19,1 %), the schedule (16,3 %), the information (12,1 %), the security (7,4 %), the accessibility (4,9 %) and the safety (4,6 %). Here too, accessibility is not mentioned as the main reason to the use of public transports but, indirectly, it can be considered as a key factor playing a role through the fact that most of users want to avoid congestion on roads and obtain a time saving owing to the speed of public transports.

b) Solutions approached during the Congress to solve the problems related to the mobility and the accessibility in Brussels and its periphery

Following a large number of observations and results such as those obtained in the enquiry driven by Cathy Macharis⁴¹, the mobility problems from which the capital suffers are alarming and require solutions. Indeed, there is no city without service and no service without mobility. According to Baudouin Velge (Managing Director of FEDIS), **the commercial establishments must be made easily accessible for their customers and suppliers** since few stores have private parking spaces⁴². In fact, the high parking costs and the difficulties to find a parking space reject a large number of customers. Moreover, the suppliers generally do not find a parking space near the stores to be supplied and they are thus constrained to park the vehicle in double file, which disturbs the mobility and the road safety. As said in the introduction, such problems result currently in the periurbanisation of services and companies, which causes a reduction of investments and employments in Brussels. In this context, Caroline Ven emphasizes the fact that **accessibility in Brussels** – especially by means of a car or a truck – **is a key factor in the location of services and facilities**. Indeed, a study has demonstrated that the establishment of an office building depends mainly on accessibility with the car (65 %) and on accessibility by means of public transports (55 %). The improvement of mobility and accessibility in and around Brussels is then a major component in the economic development and for the quality of life of the capital. According to Jacques Barrot, the mobility is a competitive advantage which must be developed by means of a better and more efficient management.

During the Congress, it clearly appeared that a single action is not sufficient to ensure the future mobility in and around Brussels. On the contrary, Michèle Pans observed in a very general way a large number of actions that must be implemented, especially the following:

1) **Reinforcing intermodality**, i.e. to ensure a better combination between the different modes of transport. To this end, it is proposed to create enough Park&Ride parkings (i.e. dissuasion or relay parkings) near public transports stations. This action must not only be undertaken near metro stations, but also near RER stations⁴³. In this context, the car would thus be used as a mean making more accessible and more attractive the public transport. On this subject, Luc Bontemps (Managing Director of FEBIAC) emphasized in a very realistic way the key role of the car, which should not be denied. Indeed, the commuter wants to minimise the number of breaking bulks as well as the travel time between his house and his workplace. Given that each breaking bulk takes time and reduces the willingness to give up the car, the commuter does not like to take a bus and to wait for it to go to the nearest station after. However, one solution could be an improvement in the correspondences between bus and train by means of an increase in the number of shuttles serving the main SNCB stations.

Another idea suggested by Luc Bontemps is the fact that the Park&Ride parkings should be free both for the subscribers and the individuals which do not have a subscription and wishing to leave their car to take bus, tram and/or metro. In this case, the commuters would not travel on the road and would thus make **more accessible** the capital.

⁴¹ But also following the experience of everyone as regards mobility in and around Brussels ...

⁴² Which is due to the high taxes imposed on those latter.

⁴³ Before 2010, Pascal Smet (Minister for Mobility, Public Works and Taxis in the Region of Brussels-Capital) want to raise the current number of parking spaces near metro stations to 8.790 (instead of 2.790) but it still seems insufficient when it is compared with the 365.000 commuters which go every day in the capital. Consequently, actions must also be undertaken near RER stations, especially by means of the construction of Park&Ride parkings **with a sufficient capacity**.

2) **Establishing a better dialogue and a reinforced collaboration between the various mobility actors:** According to Jannie Haek (Managing Director of SNCB Holding), the improvement of mobility in and around Brussels requires a common action gathering the Federal State, the three Regions, and the four public transport companies (i.e. SNCB, STIB, De Lijn and TEC). In particular, the cooperation between those latter must be reinforced by means of three actions: improving the correspondences of the public transport, providing a coordinated supply, and arriving to a single source of informations as regards all public transports. For instance, this could avoid that several companies make partially or entirely the same travel.

3) **Promoting the use of public transports** (i.e. increasing the number of users): According to Michaël Lichtenegger (General Manager of Wienerlinien, in Vienne) and Kees Smilde (Coordinator of Komimo), one solution to do this could be to give the priority to public transports to the detriment of the car, e.g. by providing more traffic lanes for buses and trams. Furthermore, a second measure consists in integrating the tickets of public transports into one single ticket and in using one single pricing structure. This measure allows an easier recourse to the public transports since the user does not have to worry about the company providing the service. Other proposals under consideration during the Congress focused on an increase of the commercial speed and frequency (especially during the peak hours), on a better (temporal) distribution of the public transport supply, on an improvement of the security and safety in public transports, and – finally – on development in favour of the city-rail (i.e. the urban rail transport).

4) **Promoting the use of motorised two-wheeled vehicles** (i.e. motorbikes, motorcycles and scooters): According to Luc Bontemps (Managing Director of FEBIAC) and Roger Renoy (President of MotorCycle Council) consider that the use of motorised two-wheeled vehicles is a good political instrument to combat the increasing traffic congestion in and around Brussels.

5) **Reducing the “autosolisme”⁴⁴:** This action aims to reduce the number of travels where there is only one driver by car. This can be realised by means of three measures:

- The first measure supports the carsharing, which implies that a certain number of individuals make the travel (e.g. between their house and their workplace) in a same car.
- The second measure promotes the shared taxi, i.e. the travel of a certain number of individuals in a same taxi.
- The third measure assumes that the taxi drivers ensuring the transport of passengers between Brussels and Zaventem airport do not make the half of the travels without passengers.

6) **Reducing the share of the car in travels between the house and the workplace/school:** According to Jacques Charlier (Scientific Manager of CIEM and Professor from the UCL/CIEM/Sorbonne), the qualitative variations between the different schools should be reduced. The bad reputation of a school located close to the house brings the parents to register their childrens in a better school, but which is located further than the first. If all schools provided a teaching of equivalent quality, each child could go in a school less distant from his residence. Eventually, this school could be accessible on foot, with a bicycle or by means of public transports.

⁴⁴ In other words, it means that the car is only used by the driver.

7) **Ensuring the success of the Regional Express Network (RER):** According to Jacques Charlier and Thierry Willemarck (Managing Director of Touring), the RER will not have a great success if the stations are not easily accessible by means of individual transports (e.g. car, motorcycle, motorbike and scooter) or public transports (e.g. tram or bus).

8) **Eliminating the missing links in the public transports:** In this context, the quality of public transports and the number of embarking points have to be improved for people going to the periphery of Brussels, the Zaventem Airport, the main urban centres, and the insulated zones of economic activities.

9) **Extending the (un)loading periods and finding a solution to the lack of parking spaces reserved for such operations:** According to Philippe Degraef (Managing Director of FEBETRA), the loading and the unloading times should be extended to other hours than the classic ones (e.g. from 5h00 to 22h00), and this more particularly for the places where there are few residents, such as the harbour and industrial parks.

10) **Managing night deliveries:** Baudouin Velge (Managing Director of FEDIS) advised to manage night deliveries, which allows to truck drivers to circulate during off-peak hours. Such a measure makes it possible to the drivers to avoid congestion during the peak hours but it is only feasible if the personnel of the shop is been willing to receive the deliveries during the night.

11) **Increasing simultaneously the capacity of the road and rail networks:** In other words, more investments should be made in road and rail infrastructures, especially by means of the following actions:

- Increasing the capacity of the peripheral ring (according to Thierry Willemarck, Managing Director of Touring)
- Increasing the number of railways and their distribution in slow and fast ways so that the slow and fast trains do not travel on the same ways (according to Luc Lallemand, Managing Director of Infrabel).
- Improving the railway links with other European countries (according to Catherine Maheux, Advisor of the economic department, Commission Logistic and Transport of FEB).

12) **Separating the local circulation and the transit traffic:** The separation of the transit traffic from the local circulation could result in a less congested circulation. According to Jos Stroobants (Director Aviation Development and member of the Management Committee of BIAC), the congestion and the other problems due to the transit traffic in Brussels and for its periphery could be reduced by setting up traffic lanes mainly reserved to this kind of traffic. *However*, according to Luc De Brabandere (Vice-President of FEB), this separation – favouring the local circulation to the detriment of the transit traffic – presents the disadvantage of putting in danger the competitiveness of the Belgian economy.

13) **Reducing the modal share of the truck in the freight transport and increasing that of the inland navigation, rail transport and aviation:** Today, 85 % of the freight transported by road is conveyed on short distances (i.e. lower than 150 kilometres). According to Philippe Degraef (Managing Director of FEBETRA), there is a real potential for modal change⁴⁵ as regards freight transport on longer distances (i.e. higher than 600 kilometres, which

⁴⁵ From road to train, inland navigation or air transport.

corresponds approximately to the point D_1 in figure 36). However, in a small country as Belgium, the freight transport does not have such a potential because road has a lower cost function for short distances than it is the case for the other modes (such as the rail transport).

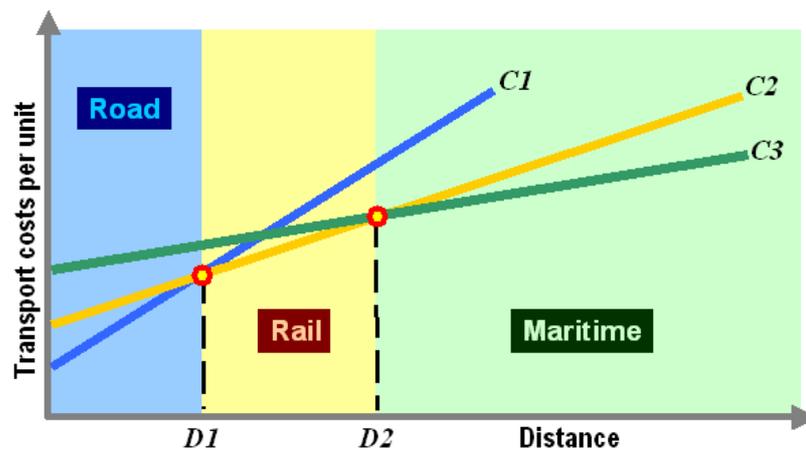


Figure 36: The potential for modal change associated with the distance and the transport costs. Note that D_1 is generally located between 500 and 750 kilometres of the origin, while D_2 is near 1500 kilometres (Source: Rodrigue *et al.*, 2005).

14) **Using the numerous possibilities provided by the Technologies of Information and Communication (TIC):** In other words, this action supports e.g. the telecommuting and the video conferences.

15) **Accounting for the external costs caused by the road transport** (e.g. congestion, accidents, pollution, deterioration of the road network), especially by means of implementing a road label or establishing a toll at the entry of the capital. According to Olivier Charon (Advisor in the Knowledge Centre of VOKA), the incomes generated by the road label or the toll should be invested for the improvement of mobility in and around Brussels. However, this action can only be undertaken if there are valuable alternatives to the car, at a price accessible for everyone.

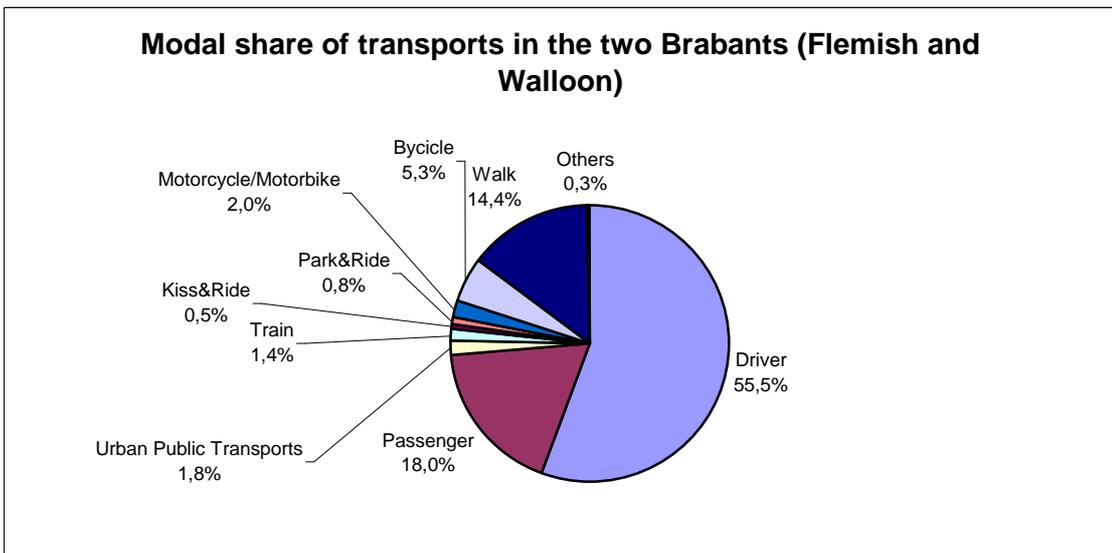
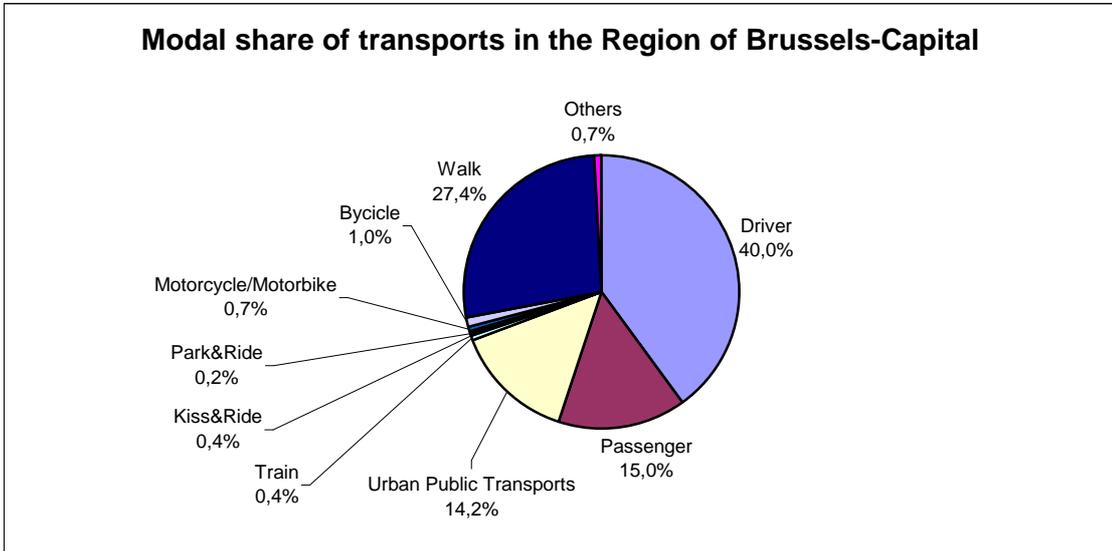
5.3.3. Accessibility and mobility as regional priorities in Belgium

Each regional plan has priorities which account for mobility and accessibility. As regards the **Region of Brussels-Capital**, the principal objectives defined by the Regional Plan for Development (PRD) are also called “priorities”. In general, those which are related with the mobility and the accessibility are the following (PRD, 2001):

- **Supporting the mobility for people working in and around Brussels**, especially by improving the public transports making the travel between Brussels and the two other Regions (Priority 2.8.)
- **Improving the commercial and cultural attractivity of Brussels**. In particular, the accessibility to the shopping areas have to be increased for the two-wheeled vehicles and for individuals, as well as for deliveries (Priorities 6.1.1. and 6.2.4.).
- **Implementing the general objectives defined by the policy for mobility and transports**, i.e. ensuring the accessibility for residents and visitors of the Region to the various fonctions, managing in a sustainable way the demand for mobility,

contributing to the respect of international engagements (e.g. Kyoto), or improving the safety of public spaces (Priority 8.1.).

- **Influencing the residents and visitors of the Region to use more environmentally friendly modes**, e.g. walking or using two-wheeled vehicles. Indeed, as illustrated in the Figures 37 and 38, too many people still use their car to travel (Priority 8.2.).



Figures 37 and 38: Modal share of transports in Brussels and in its periphery (Source: Wouters, 2005)

- **Increasing the market share and the efficiency of public transports**, especially by improving their productivity and their commercial speed. In particular, the buses STIB face with a low commercial speed (i.e. inferior or equal to 10 km/h ; cf. Figure 39) in the centre of Brussels and need consequently reserved spaces for their travels (Priority 8.5.).

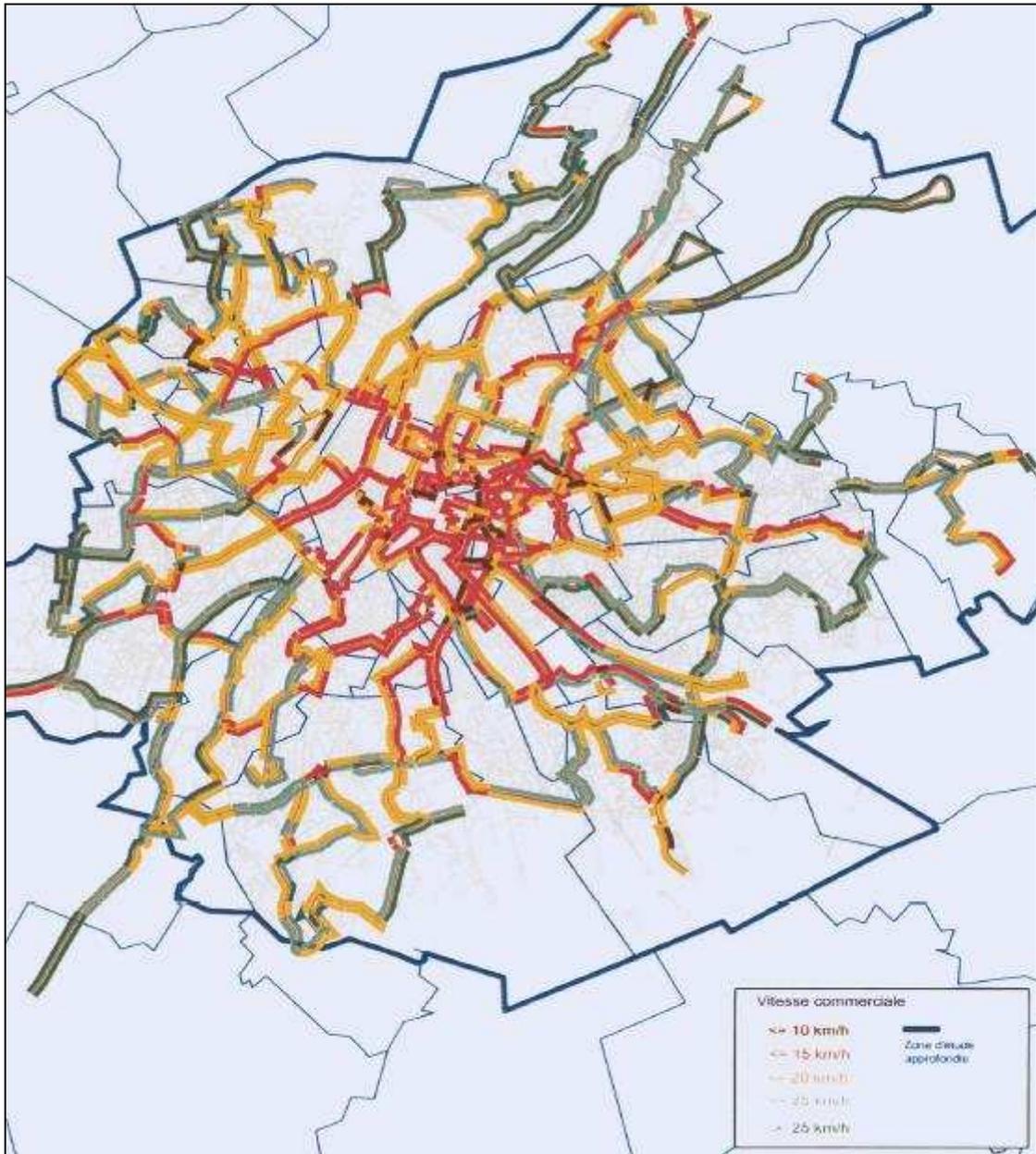


Figure 39: Commercial speed of the buses STIB, 2001
 (Source: Stratec, 2004 [in Wouters, 2005])

- **Integrating the RER in the city project**, i.e. implementing the RER to improve the accessibility and the mobility in and around Brussels. Such an implementation should cause a modal change in favour of public transports, which can thus reduce the traffic on roads and improves the quality of life (Priority 8.6.).
- **Implementing parallel measures to the RER**, which ensure its success and avoid the periurbanisation of inhabitants and services (Priority 8.7.)
- **Applying a coordinated and dynamic parking policy**, which aims to ensure available parking spaces for residents and reduce the long term parking supply. As an illustration, the Figure 40 shows the occupancy rate of the parking in the Region of Brussels-Capital (Priority 8.8.).

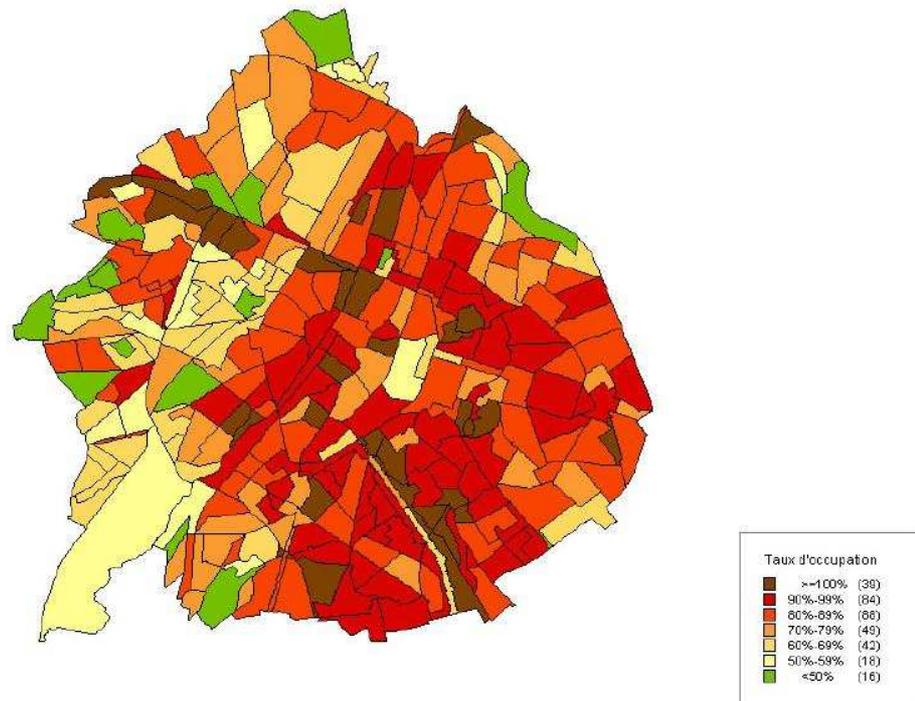


Figure 40: Occupancy rate of the parking in the Region of Brussels-Capital, 2003 (Source: Stratec [in Wouters, 2005])

- **Optimising the fluidity of the logistic chain for the freight transport in Brussels**, i.e. ensuring a better management of transport flows (particularly for deliveries and near logistic zones) and managing an incentive policy for modal changes in favour of rail, inland navigation, and intermodality water-rail-road (Priority 8.9.).
- **Improving the international and interregional accessibility of Brussels**, i.e. developing the Zaventem Airport and its accessibility, anticipating the growth of TGV traffic (especially by means of constructing a new station in the Region), improving the railway infrastructures going to Luxembourg and Strasbourg, and dredging the canal to give an access for ships reaching 4.500 tons (Priority 8.10.).
- **Improving the quality of life and the environment by acting on the traffic in Brussels**, especially by increasing the safety of “weak” users (i.e. pedestrians, cyclists, and childrens) (Priorities 11.1.3., 8.3. and 8.4.).

The development of a sustainable mobility is also considered as a main priority in the strategy established by the **Flemish Region** in its Urban Structure Plan (or, “Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen” (RSV)). Indeed, the regional policy for mobility emphasizes two problems with which it is confronted: the reduced accessibility and the lower quality of life (especially due to harmful effects such as air pollution or noise). Based on a general framework incorporating social, economic and ecological components in its perspective, the policy for mobility defined the following priorities (ROV, 2004):

- Ensuring a basic **accessibility** and mobility to and in Flanders. Such an objective can be achieved by means of the progressive implementation of the Decree “Basismobiliteit”. Approved the 20th april 2001 by the Flemish Parliament, this decree aims to ensure a basic mobility for each inhabitant living in Flanders. In other words, the decree lays down that each Flemish should have a right to a minimum supply of public transports De Lijn (transport by means of buses or trams). This right to the

mobility generally implies the zones defined as “residential” by the Flemish government, from 06h00 to 21h00 during the working days and from 08h00 to 23h00 during the weekends and the public holidays. More precisely, a priority order is attributed to five kinds of residential zones according to their hierarchy in the urban and rural poles (which includes the metropolitan zones, the regional urban zones, the peripheral urban zones, the small agglomerations, and the external zones). The basic mobility will then be applied by implementing the norms as they were defined in the decree of the 29th november 2002. A first norm implies the implementation of a minimum frequency and a maximum waiting time to the bus/tram stop according to the period and the residential zone, and a second norm lays down the maximum distance between the house and the stop (cf. Table 3).

	Maximum distance between the house and the stop	Working day (peak hours): 6h-9h and 16h-19h	Working day (off-peak hours): 9h-16h and 19h-21h	Weekend and holidays: 8h-23h
Metropolitan zones	500 meters	5 buses/hour Waiting time: maximum 15'	4 buses/hour Waiting time: maximum 20'	3 buses/hour Waiting time: maximum 30'
Regional urban zones	500 meters	4 buses/hour Waiting time: maximum 20'	3 buses/hour Waiting time: maximum 30'	2 buses/hour Waiting time: maximum 40'
Peripheral urban zones	650 meters	3 buses/hour Waiting time: maximum 30'	2 buses/hour Waiting time: maximum 40'	1 bus/hour Waiting time: maximum 75'
Small agglomerations	650 meters	3 buses/hour Waiting time: maximum 30'	2 buses/hour Waiting time: maximum 40'	1 bus/hour Waiting time: maximum 75'
External zones	750 meters	2 buses/hour Waiting time: maximum 40'	1 bus/hour Waiting time: maximum 75'	1 bus/hour Waiting time: maximum 140'

Table 3: Minimum frequency and maximum waiting time to the bus/tram stop according to the period and the residential zone, and maximum distance between the dwelling and the stop (Source: CPDT, 2005)

The basic mobility will be progressively implemented in the various Flemish communes depending on a priority order. This latter is established according to the population density as well as the comparison between the current supply in each commune and the norms of the minimum supply. Thus, the largest priority is given to the communes where the gap between the current supply and the norms of the minimum supply is the highest. Each year, the Flemish Minister for mobility publishes a list with the communes satisfying to the norms of the basic mobility. A compensation is given to the inhabitants of those communes if the minimum supply of public transports is not satisfied. By way of information, the Flemish government attributes each year 25 million euros to implement the basic mobility (CPDT, 2005).

- Ensuring a **correct quality of life**
- Improving the **safety** in transports
- **Reducing the modal share of the car** by means of implementing qualitative and quantitative improvements in favour of more environmentally friendly modes (e.g. public, collective or non motorised transports). As regards the freight transport by road, potential alternatives could be the railway mode and the inland navigation.
- **Optimising the current infrastructure**

Besides, the RSV also approaches several principles to be implemented in the policy for mobility, especially the concentration of activities (which is a necessary condition to ensure the success of public transports, thus reducing the volume traffic), connections between the Flemish ports and with their hinterlands (particularly by means of railways or waterways), connections between the Flemish Region and the main European economic regions, the opening of Flanders and its main nodes to the European transport network, the management of

the traffic by an adapted policy for mobility, or the support for alternatives to the car and the freight transport by trucks (ROV, 2004).

Finally, in the Regional spatial development perspective (or “Schéma de développement de l’espace régional” (SDER)) established by the **Walloon Region**, orientations are also given for spatial planning. The three basic principles defined by the document consider the implementation of a **sustainable development**, the development of an **economic and social cohesion** (parallel to the implementation of a territorial equity), and **the fact that the territory of Wallonia is the common heritage of its inhabitants**. In particular, such a document will be used as a reference for decisions relating to the development of the whole territory by means of acting on housing conditions, environment, travel, economic activities, urbanism, or nature conservation. In a first part, the document examines the current situation of the territory and contains an outline of future trends. In a second and third parts, it presents the strategy adopted by the document (according to the analysis driven in the previous step). In addition to these three parts, the document also suggests a project of spatial structure for Wallonia, mainly based on (SDER, 1999):

- The “Eurocorridors”, which link up the big European cities and urban areas and which are connected to the development of multiple activities in “anchor points”.
- The implementation of transregional cooperation areas between Brussels, Lille and Luxembourg, as well as between Liege, Hasselt, Maastricht and Aachen.
- The implementation of supramunicipal cooperation areas by the municipalities, especially through the “agglomerations” and the “country”.
- The specific role played by the Walloon cities
- A partnership between the cities and the rural areas

As regards the transports, one of the main priorities stated by the SDER particularly focuses on **improving the accessibility and managing the mobility in Wallonia**⁴⁶. More precisely, it aims to realise the following objectives (*ibidem*):

- Integrating the Walloon Region into the trans-European networks
- **Structuring the territory by means of an optimal distribution of its various elements and the maintenance of contacts between them owing to an appropriately organised and structured transport system**
- Improving the existing networks (particularly as regards the interurban road networks and the implementation of the RER)
- Managing mobility and achieving a sustainable balance between the satisfaction of the demand and the improvement of the environment. This objective can be achieved by means of promoting a land-use which generates fewer car journeys (e.g. by regrouping the different functions within urban centres instead of allowing a dispersal of those), giving priority to more environmentally friendly modes (e.g. walking and cycling have the highest priority for the passenger transport, while the waterways – which still have considerable capacity available – and the railways are the most appropriate for the freight transport), ensuring an equitable use of public space for all users, supporting the travels of cyclists, pedestrians and persons with reduced mobility, and adapting the supply of public transports to the context of the rural environment.

⁴⁶ The other main objectives are the following: structuring the Walloon area, integrating the supraregional dimension into Wallonia’s development, setting up cross-sectional collaborations, satisfying essential needs, contributing to job creation and wealth development, developing heritage and protecting resources, and arousing the actor’s awareness (particularly as regards their responsibilities).

As part of the Kyoto protocol, the CPDT (2005) also suggested several actions to limit the growth of mobility in the Walloon Region. In particular, the document proposed the following actions:

- Restructuring the public transports, especially by means of improving the current service, introducing new services, developing intermodality, or investing in the transport infrastructures
- Implementing travel plans for companies
- Limiting the number of available parking places near the workplace
- Managing the roadway systems in favour of the slow modes
- Bringing the complementary functions into close proximity
- **Measuring the accessibility of places**; in this case, various accessibility maps have been constructed as tools of decision-making aid. The research – driven by the LEPUR-Ulg – consisted in quantifying accessibility for each point of the territory, by means of alternatives to the car (bus, train, walk and bicycle).
- Creating urban distribution centres
- Supporting the telecommuting

5.3.4. Conclusion on the main political issues approached in Belgium

As regards the most recent political notes, the main objectives described by the federal Minister for mobility aim to ensure the four following objectives :

- A **better safety (and security) in transports** (and more particularly as regards road);
- An **improved service and management**;
- A **basic mobility**, especially by providing an access to transports for everyone as well as by means of an improvement in their degree of accessibility;
- And, finally, a **sustainable mobility**, particularly by resolving congestion problems.

Concerning the Congress “Rail Meets Road III”, interesting observations come out from the enquiry driven by Cathy Macharis (VUB), on the “Choice of transport and expectations of commuters”. Communications by means of public transports and accessibility to Brussels (and more particularly, to the workplace) are issues often tackled by the commuters. Moreover, **better connections** and a **higher speed for public transports** could make those latter more attractive for the commuters. Doing this, the public transports would be more often used and the accessibility to the workplace (or e.g. the facility, the recreational place, ...) would be higher owing to a reduced traffic on roads. However, improving the public transports is not the only solution and parallel actions – such as those approached during the Congress – must be implemented. To quote only some of them, relevant measures are generally focused on the reinforcement of the dialogue and the collaboration between the various mobility actors, the reduction of the “autosolisme” and the share of the car in travels (especially between the house and the workplace/school), the promotion of intermodality (e.g. a better combination should be ensured between the different modes of transport), the use of the TIC (Technologies of Information and Communication), or the reduction of missing links in the public transports. In this context approaching the mobility in and around Brussels, accessibility to Brussels and to the public transports (both in the capital and in its periphery) seems to play a key role in the political issues.

Finally, the report also emphasized the key role of accessibility and mobility as one of the main priorities defined into the regional strategic plans. On the one hand, the Flemish Region

aims to develop a **sustainable mobility** and focuses its actions on **improving the accessibility and the environment** within its territory, particularly by ensuring a basic accessibility and mobility for each inhabitant. On the other hand, the Walloon Region bases its transport strategy on **improving the accessibility and managing the mobility** in Wallonia. As regards the public policy, the issue referring to accessibility must be integrated from a territorial point of view, within which the economic and social cohesion are foreground objectives as regards public policy. Concerning the Region of Brussels-Capital, the objectives are relatively similar to those approached during the Congress “Rail Meets Road III”. In particular, the Region also gives the priority to measures supporting the mobility and the accessibility in and around Brussels, as well as those in favour of a better environment (e.g. the attractiveness of Brussels, the accessibility to the workplaces, and the use of public transports and more environmentally friendly modes will be especially favoured by the public authorities).

5.4. Final selection of accessibility indicators according to the political needs

In this section, we will finalise the first part of the report (which is based on the literature review) by restricting our choice of accessibility indicators according to the political needs such as approached above. In a first step (cf. point 3.4.), we chose a set of indicators according to their interpretability, their relevance, and the amount of data which are required for their implementation. Now, in this second step, we have to limit once again the set of indicators (selected in the first step) by eliminating those which are not relevant to answer the political objectives. Consequently, a more restricted set of accessibility indicators will be obtained to be applied later in the continuation of this report.

Following what we could learn before, in this chapter based on the political needs and in the others based on the indicators themselves, it seems that the competition effects – occurring on destinations and/or origins – are not a subject of interest for the authorities. Whatever the kind of transport considered (passenger or freight), the Joseph and Bantock’s measure as well as the method using inverse balancing factors are thus not appropriate within the framework of our study. In spite of a great ability to satisfy almost all theoretical criteria and to reveal differences in individual accessibility, person-based measures lead to similar observations than those made about the competition effect. Indeed, we already said before that such measures are relatively complex and require a large amount of information. Furthermore, the political objectives previously analysed seem to suggest us the use of other measures, which analyse the territorial imbalances as regards accessibility and mobility and allow us to implement a policy focused on a basic and sustainable mobility.

According to the political priorities and the purpose of our study, **potential and integral measures** seem then to be the most appropriate for both passenger and freight transports. As it was said before, integral measures could be very useful to evaluate the impacts related to the network structure and to the way with which the network is exploited, thus reflecting disparities as regards territorial equity. Moreover, potential measures are really adequate for analysing the social and economic cohesion within a territory, which can be made by measuring the level of accessibility to social and economic activities for groups with different socio-economic characteristics.

Part II: Data inventory

Introduction

Dans cette deuxième partie du travail, un inventaire des données récoltées est dressé afin de montrer quelles sont les données disponibles et quelles sont celles qui ne le sont pas. Cet inventaire a été dressé à partir des connaissances acquises en matière d'accessibilité et se base donc sur la très large revue de la littérature (abordée dans la première partie de ce rapport). De manière très générale, nous distinguons deux types de données :

- Les données de type **statistique** : données sous forme de tableaux (Excel, Access, ...)
- Les données de type **spatial** : données géoréférencées, combinées éventuellement avec des données statistiques

Dans la mesure du possible, nous communiquons les sources des données, les raisons de leur indisponibilité (s'il y a lieu), ainsi que les coordonnées des personnes de contact. Notons que ces dernières ont toutes été contactées entre le mois de mars 2006 et le mois de juillet 2006. Dans le cadre de mesures ultérieures en accessibilité, cette partie du rapport peut être très utile pour savoir dans quelle direction chercher pour obtenir certaines données relatives aux différents modes de transports.

1. Transport de passagers

Au niveau de la collecte des données relative au transport de passagers, les différents modes de transport qui ont été considérés sont les suivants : (1) transport par voie ferrée (train, métro, tram), (2) transport par route (voiture, bus), et (3) transport aérien. Dans la suite de ce point, chaque sous-section sera consacrée à un mode particulier et aura pour but de donner un aperçu global de ce qui a pu être collecté dans le cadre de cette recherche.

1.1. Transport ferroviaire

1.1.1. *Transport de voyageurs par train (SNCB)*

Concernant le transport de voyageurs par train (SNCB), toutes les données que nous avons demandées ont pu être acquises dans les délais que nous nous sommes fixés. La Direction Voyageurs de la SNCB nous a transmis les données suivantes :

1. **Trafic des voyageurs par section**, ou densité moyenne journalière (2004), sous forme de cartes et de tableaux Excel
2. **Nombre de voyageurs montés par jour et par gare** (2004), sous forme cartes et de tableaux Excel
3. **Localisation GPS des gares** et autres points caractéristiques ; ces informations sont issues d'un programme informatique développé par Infrabel, et nous ont été transmises sous forme de tableur (Excel).
4. Nombre de trains par gare avec le type de relation, circulant un jour ouvrable (Octobre 2004 et Octobre 2005) ; ces informations nous ont été fournies sous forme de tableur (Excel) et nous ont permis de calculer la **fréquence cumulée aux gares**.

Le Centre de documentation SNCB et le bureau de dessin Infrabel nous ont également fourni d'autres données, ainsi que des **cartes-papier** (trafic de voyageurs, carte du réseau, vitesses

de référence, ...) très utiles pour nos analyses. Les données relatives au **réseau ferroviaire** ont été produites par l'Institut Géographique National (2002) et ont pu être obtenues à la KUL (SADL). Enfin, différents traitements ont dû être faits pour obtenir le **temps de parcours** et les **distances entre les gares IC**.

Les différentes personnes de contact à la SNCB sont les suivantes :

- Mohammed Yousfi, Direction Voyageurs, Tél. : 02/528.38.18, E-mail : mohammed.yousfi@b-rail.be
- Christian Masset, Bureau de dessin Infrabel, Tél. : 02/526.38.15, E-mail : christian.masset@infrabel.be
- Marcel D'hoossche, Infrabel, Tél.: 02/525.23.68, E-mail: marcel.dhoossche@infrabel.be
- Pascal Chaussée, Direction Voyageurs, Tél. : 02/528.38.00, E-mail : pascal.chaussee@b-rail.be
- Charles Mauroy, Direction Voyageurs, Tél. : 02/528.23.13, E-mail : charles.mauroy@b-rail.be
- Poncelet Ghislain, Direction Voyageurs, Tél. : 02/528.84.21, E-mail : ghislain.poncelet@b-rail.be
- Amélie Dascotte, Direction Voyageurs, Tél. : 02/528.38.17, E-mail : amelie.dascotte@b-rail.be

En matière de transport ferroviaire, notons aussi que Jacques Charlier (UCL/CIEM) nous a fourni certaines données (cartes pdf), en plus de nous avoir prodigué quelques conseils et informations utiles sur l'accessibilité ferroviaire. Ses coordonnées sont les suivantes :

- Jacques Charlier, Chercheur qualifié FNRS et Directeur scientifique au CIEM, Tél. : 010/47.28.79, E-mail : charlier@geog.ucl.ac.be

Notons que le tableau 1 résume la disponibilité des données relatives au transport de voyageurs par train (vert : données disponibles ; orange : données disponibles à l'aide de traitements, ou obtenues partiellement ; rouge : données non disponibles) :

		Type de donnée
SNCB (train)	Données Statistiques	Temps entre gares IC
		Distance entre gares IC
		Trafic des voyageurs/section (densité moyenne journalière)
		Nombre de personnes descendues/montées à chaque gare
		Fréquence cumulée aux gares (selon le type de liaison : IC, IR, L, P, CR, INT)
		Vitesse commerciale
	Données Spatiales	Localisation des gares
		Réseau

Tableau 1 : Disponibilité des données relatives au transport de voyageurs par train (SNCB)

1.1.2. Transport de voyageurs en tram/méto (STIB)

Concernant le transport de voyageurs en tram/méto, toutes les données que nous avons demandées ont également pu être acquises dans les délais que nous nous sommes fixés. La Direction Offre de Transport (DOT) de la STIB nous a transmis les données suivantes :

1. Nombre de départs par jour et par ligne avec le nombre de places offertes (2005), sous format Excel ; bien qu'elles soient théoriques, ces informations nous permettent de calculer la **fréquence cumulée** aux stations/arrêts ;
2. **Localisation GPS des arrêts** pour tout le réseau (2006), sous format Excel
3. **Vitesse commerciale** moyenne des véhicules (Rapport annuel, 2004), sous format Excel
4. **Réseau** des différentes lignes de la STIB (2005) ; ces informations ont été transmises sous forme de CD, au format DXF et DGN.

Une partie de ces données (réseau, localisation des arrêts) a également pu être acquise à la KUL (SADL). Enfin, la **distance entre stations** a pu être calculée grâce à certains traitements effectués dans le Network Analyst (ArcGIS 9.1.).

Lors de la transmission des données, il a été précisé par la STIB-DOT que :

- Les données ne pouvaient être modifiées ou altérées d'une quelconque manière, sous peine de nullité
- Les données qui ont été utilisées dans le cadre de la recherche devaient être accompagnées de leurs sources respectives
- Toute carte utilisant les données ci-dessus doit comporter, en plus de la mention de la source des données, le logo de la STIB.

Les personnes que nous avons contactées et qui nous ont aidées à obtenir les données sont les suivantes :

- Benoît Vanderputten, Direction Offre de Transport (DOT), Tél. : 02/515.33.07, E-mail : vanderputtenb@stib.irisnet.be
- Patrick Frenay, Direction Offre de Transport (DOT), Tél. : 02/515.31.80, E-mail : frenayp@stib.irisnet.be
- Jo Wijnant, Assistant de recherche (KUL/SADL), Tél. : 016/32.97.32, E-mail : jo.wijnant@sadl.kuleuven.ac.be

Notons que le tableau 2 résume la disponibilité des données relatives au transport de voyageurs par tram/méto (vert : données disponibles ; orange : données disponibles à l'aide de traitements, ou obtenues partiellement ; rouge : données non disponibles) :

		Type de donnée
STIB (tram et méto)	Données Statistiques	Temps entre stations de méto/arrêts de tram
		Distance entre stations/arrêts
		Fréquence cumulée aux stations/arrêts
		Vitesse commerciale
	Données Spatiales	Localisation des stations/arrêts
		Réseau

Tableau 2 : Disponibilité des données relatives au transport de voyageurs par tram/méto (STIB)

1.2. Transport par route

1.2.1. Transport par route, en voiture

Concernant le transport de personnes par voiture, toutes les données que nous avons collectées ont pu être obtenues à l'UCL (**réseau routier**) et auprès du SPF Mobilité et Transports (**recensement de la circulation** 2004, disponible sur le site Internet du SPF Mobilité et Transports : <http://www.mobilit.fgov.be/fr/index.htm>). Les autres données (**temps et distance** entre un point i et un point j du réseau routier belge) sont issues de traitements que nous avons effectués dans ArcGIS 9.1. Enfin, étant donné que les données de **vitesse** devraient être encodées pour plus de 600.000 arcs (dans notre cas), nous avons préféré ne pas collecter de telles données et nous concentrer sur l'application d'une vitesse maximale théorique pour chaque arc.

Dans le cadre de cette collecte de données, nous n'avons contacté qu'une seule personne : Gilles Labeeuw (SPF Mobilité et Transports, Auteur du recensement de la circulation, Tél. : 02/287.31.81, E-mail : gilles.labeeuw@mobilit.fgov.be).

Notons que le tableau 3 résume la disponibilité des données relatives au transport de personnes par route, en voiture (vert : données disponibles ; orange : données disponibles à l'aide de traitements, ou obtenues partiellement ; rouge : données non disponibles) :

		Type de donnée
Voiture	Données Statistiques	Temps entre deux points du réseau routier
		Distance entre deux points du réseau routier
		Trafic/section de réseau (recensement de la circulation)
		Vitesse maximale autorisée (théorique)
	Données spatiales	Réseau routier

Tableau 3 : Disponibilité des données relatives au transport de personnes par route, en voiture

1.2.2. Transport par route, en bus

En ce qui concerne le transport de personnes par bus, seule une partie des données que nous avons demandées a pas pu être acquise dans les délais que nous nous sommes fixés. Excepté pour la SRWT, nous n'avons pas vraiment eu de problème pour obtenir les données provenant des autres sociétés de transport public (De Lijn et STIB). Néanmoins, certaines données sont obtenues partiellement (par exemple, les lignes ou la fréquence par ligne), limitant ainsi les possibilités de travailler à l'échelle de la Belgique. Les seules données que nous avons demandées et qui n'existent apparemment pas (sous forme de tableur) sont les matrices de distance et de temps entre les arrêts⁴⁷. L'éventualité de construire ces matrices manuellement est vite écartée puisque :

⁴⁷ Chaque société de transports en commun (STIB, TEC, et De Lijn) dispose toutefois du logiciel Hastus, qui permet d'organiser l'exploitation. Ce logiciel utilise des données de TéléAtlas et permet de géoréférencer les coordonnées des arrêts et des itinéraires. Ils ne possèdent cependant pas de données sous forme de matrices OD, et ils n'exploitent pas encore de logiciel GIS. Chez TEC, il semble que le problème soit actuellement à l'examen.

1. A l'échelle de la Belgique, il faudrait calculer le temps de trajet (et la distance) pour plus de 60.000 arrêts (ce qui produit une matrice d'environ 60.000 x 60.000 cases).
2. Toujours à l'échelle de la Belgique, le fait de considérer l'ensemble des déplacements entre arrêts n'est pas réaliste ; par exemple, un individu δ habitant la ville d'Arlon ne prendra pas exclusivement le bus pour aller de son domicile à Bruxelles ; il prendra probablement le bus sur une courte distance (de l'arrêt le plus proche à la gare d'Arlon), puis il voyagera en train jusque Bruxelles.

1.2.2.1. *De Lijn (Région flamande)*

Les **coordonnées des arrêts** et les tracés des **lignes** de la société De Lijn ont pu être obtenus à la KUL (SADL), mais nous n'avons toutefois pas pu obtenir de données relatives à la fréquence cumulée à chaque arrêt et reprenant des matrices de distances ou de temps. Les coordonnées de la personne qui a pu nous aider pour obtenir les données (relatives à la société De Lijn) sont les suivantes :

- Jo Wijnant, Assistant de recherche (KUL/SADL), Tél. : 016/32.97.32, E-mail : jo.wijnant@sadl.kuleuven.ac.be

1.2.2.2. *STIB (Région de Bruxelles-Capitale)*

Concernant la STIB, les données qui nous ont été transmises pour le tram et le métro se rapportent aussi au transport par bus. Nous avons donc pu obtenir les données suivantes :

1. Nombre de départs par jour et par ligne avec le nombre de places offertes (2005), sous format Excel ; bien qu'elles soient théoriques, ces informations nous permettent de calculer la **fréquence cumulée** aux arrêts
2. **Localisation GPS des arrêts** pour tout le réseau (2006), sous format Excel
3. **Vitesse commerciale** moyenne des véhicules (Rapport annuel, 2004), sous format Excel
4. **Réseau** des différentes lignes de la STIB (2005) ; ces informations ont été transmises sous forme de CD, au format DXF et DGN.

Les remarques qui ont été formulées pour le tram et le métro sont aussi valables pour le transport par bus (voir section 2.1.2.). En outre, les coordonnées des personnes que nous avons contactées sont les suivantes :

- Benoît Vanderputten, Direction Offre de Transport (DOT), Tél. : 02/515.33.07, E-mail : vanderputtenb@stib.irisnet.be
- Patrick Frenay, Direction Offre de Transport (DOT), Tél. : 02/515.31.80, E-mail : frenayp@stib.irisnet.be

1.2.2.3. *SRWT (Région Wallonne)*

Concernant la SRWT (TEC), la demande avait été transmise à certains responsables des données mais il a fallu plus de deux mois avant d'avoir une réponse concrète de leur part. La réponse en question nous redirigeait vers le LEPUR (Ulg), qui a déjà travaillé sur l'accessibilité pour la Région wallonne (dans le cadre de la CPDT) et qui dispose de données relatives à la localisation des arrêts TEC. Le responsable de l'étude, Jean-Marc Lambotte (LEPUR), nous a ainsi transmis les données suivantes :

1. **Coordonnées (x,y) des arrêts** de bus TEC (2002). Chaque arrêt a été encodé sur base des fichiers transmis par la SRWT, complétés localement par un repérage sur le terrain (pour diverses lignes De Lijn ou venant d'Allemagne, de France, ou du Grand-Duché du Luxembourg).
2. Nombre de passages de bus par jour et par ligne ; ces données permettent de calculer **la fréquence cumulée** par ligne.

Pour obtenir des données venant directement de la SRWT, il nous a été conseillé d'écrire à l'Administrateur Général de la SRWT (Jean-Claude Phlypo). Après envoi et réception de la lettre, un responsable de la SRWT a pu nous donner les coordonnées d'une personne travaillant à la Direction commerciale de TEC Brabant Wallon. Enfin, quatre mois après la requête des données, un rendez-vous a pu être décroché au siège de TEC Brabant Wallon. A la suite de ce rendez-vous, il s'avère que les données qui ont été demandées chez TEC n'existent pas. La société de transport ne dispose que de données brutes, c'est-à-dire qui n'ont pas été traitées dans le sens souhaité par la recherche. Etant donné l'ampleur du travail qu'il faudrait fournir pour obtenir certaines données⁴⁸ qui sont utiles pour calculer l'accessibilité (telles que des matrices OD de temps, ou des données de fréquence cumulée), nous n'avons rien pu obtenir d'autre que la localisation des arrêts TEC en Région Wallonne, ainsi que quelques informations/conseils. Dans l'éventualité où cela pourrait nous servir dans le cadre de notre recherche, une série de brochures (horaires) et de cartes (papier) nous ont également été fournies.

Les personnes que nous avons contactées et qui nous ont aidées dans notre recherche sont les suivantes :

- Jean-Marc Lambotte, Attaché de recherche, LEPUR (Ulg), Tél. : 04/366.58.93, E-mail : jm.lambotte@ulg.ac.be
- Michel Barette, Direction commerciale, TEC Brabant Wallon, Tél. : 010/23.53.50, E-mail: Michel.barette@tec-wl.be
- Gérard Petre, SRWT, Tél. : 081/32.27.52, E-mail : Gerard.PETRE@tec-wl.be
- Marc Masy, SRWT, Tél. : 081/32.28.89, E-mail : marc.masy@tec-wl.be
- Michel Favay, SRWT, Direction Client-Réseau-Mobilité, Tél. : 081/32.27.50, E-mail : michel.favay@tec-wl.be
- Bruno Balthazar, TEC Brabant Wallon, Tél.: 010/23.53.40 ou 010/23.53.11

Notons que le tableau 4 résume la disponibilité des données relatives au transport de personnes par route, en bus (vert : données disponibles ; orange : données disponibles à l'aide de traitements, ou obtenues partiellement ; rouge : données non disponibles) :

		Type de donnée
Bus (STIB, De Lijn, TEC)	Données Statistiques	Temps entre arrêts (sites Internet)
		Distance entre arrêts
		Fréquence cumulée aux arrêts
	Données Spatiales	Localisation des arrêts
		Réseau/Lignes (partiel)

Tableau 4 : Disponibilité des données relatives au transport de personnes par route, en bus

⁴⁸ Par exemple, des matrices de temps de parcours, ou encore des données de fréquence cumulée.

1.3. Transport aérien

Concernant le transport aérien, nous nous sommes seulement limités à récolter les données relatives à la **localisation GPS des aéroports belges** (transmis par le CIEM) ; les aéroports étrangers (Eindhoven, Luxembourg, ...) n'ont pas été considérés dans l'analyse. Notons que d'autres données auraient peut-être été utiles, notamment des données de temps d'attente ou relatives au nombre de vols par aéroport (par exemple, pour attribuer une pondération à chaque aéroport).

Les personnes que nous avons contactées et qui nous ont aidées à obtenir les données sont les suivantes :

- Jacques Charlier, Chercheur qualifié FNRS et Directeur scientifique au CIEM (Centre Interuniversitaire d'Etude de la Mobilité), Tél. : 010/47.28.79, E-mail : charlier@geog.ucl.ac.be
- Xavier Tackoen, Adjoint à la direction du CIEM (Centre Interuniversitaire d'Etude de la Mobilité), Tél. : 02/650.27.83, E-mail : xtackoen@ulb.ac.be

2. Transport de marchandises

Du point de vue de la collecte des données relative au transport de marchandises, les différents modes de transport qui ont été considérés sont les suivants : (1) transport par voie ferrée, (2) transport par route, (3) transport par voies navigables, et (4) transport aérien. Dans la suite de ce point, chaque sous-section sera consacrée à un mode particulier et aura pour but de donner un aperçu global de ce qui a pu être collecté dans le cadre de cette recherche.

2.1. Transport de marchandises par voie ferrée (B-Cargo)

A part quelques **cartes** donnant une idée des flux de marchandises en Belgique (2002 et 2005), nous n'avons pas pu obtenir de données de la part de la société belge de transport de marchandises par voie ferrée, B-Cargo. Opérant maintenant dans un marché libéralisé fortement concurrentiel, la société de transport de marchandises B-Cargo ne cache pas sa réticence à nous fournir certaines données qui, je cite, « touchent au **secret des affaires** ». Seules des données globales (du même genre que les cartes qui nous ont été fournies, et sans tableur) peuvent être transmises par le bureau Infrabel. Ce dernier nous a d'ailleurs fourni les seules données relatives à B-Cargo :

1. **Localisation GPS des gares** et autres points caractéristiques ; ces informations sont issues d'un programme informatique développé par Infrabel, et nous ont été transmises sous forme de tableur (Excel). A partir de ces données, il nous a fallu dissocier le fichier en deux parties (la première reprenant les gares voyageurs, et la deuxième reprenant les gares marchandises)
2. **Carte** (format pdf) relative à la densité moyenne journalière du trafic de marchandises (2002)

Pour obtenir des données sur le trafic de marchandises (sous forme de tableur Excel), Infrabel ne disposait pas de données assez récentes et nous renvoyait vers la société B-Cargo ... qui, par ailleurs, nous renvoyait constamment vers le gestionnaire du réseau ferroviaire, qui n'est autre qu'Infrabel. Concernant la vitesse commerciale pour chaque section du réseau, la notion est jugée difficile à déduire à partir des fichiers de sillons et B-Cargo n'a pas pu nous fournir de données à ce sujet. Selon l'Ingénieur Principal-Chef de Division de B-Cargo, les matrices

OD (temps entre les gares) constituent également une information difficile à extraire des bases de données ; les temps de trajet entre gares seraient basés, d'une part sur les horaires des sillons qui sont accordés à B-Cargo par Infrabel, et d'autre part sur les contraintes d'exploitations qui sont propres à B-Cargo. Par contre, la **matrice OD des distances** entre gares marchandises pourrait être aisément obtenue grâce à divers traitements effectués dans le Network Analyst (ArcGIS 9.1.). Au niveau des **coûts de transport** par voie ferrée, les données ont été acquises via le GTM (Groupe Transport et Mobilité), attaché à la FUCaM. Le GTM nous a également fourni un tableur (sous format Excel) reprenant une matrice OD des principaux flux de transport de marchandises par voie ferrée (échelle d'analyse : communes). Enfin, le **réseau** de transport de marchandises est le même que celui utilisé pour le transport de personnes par train (IGN, 2002). Rappelons juste qu'il a été obtenu à la KUL (SADL).

Les coordonnées des personnes que nous avons contactées et qui nous ont aidées dans notre recherche sont les suivantes :

- Nicolas Crama, Ingénieur Principal-Chef de Division, SNCB / B-Cargo, Tél. : 02/525.89.44, E-mail : nicolas.crama@b-rail.be
- Dominique De Batselier, SNCB / B-Cargo, Tél. : 02/525.86.56, E-mail : dominique.debatselier@b-rail.be
- Luc Duveiller, Chef de Division Adjoint, SNCB / B-Cargo, Tél. : 02/525.26.77, E-mail : luc.duveiller@b-rail.be
- Albert Counet, General Manager B-Cargo, Tél. : 02/525.87.00, E-mail : albert.counet@b-rail.be
- Bart Jourquin, GTM (FUCaM), Tél. : 065/32.32.93, E-mail : bart.jourquin@fucam.ac.be
- Christian Masset, Bureau de dessin Infrabel, Tél. : 02/526.38.15, E-mail : christian.masset@infrabel.be
- Erik Kerkhofs, Infrabel, Tél.: 02/525.31.16, E-mail: erik.kerkhofs@infrabel.be

Notons que le tableau 5 résume la disponibilité des données relatives au transport de marchandises par voie ferrée (vert : données disponibles ; orange : données disponibles à l'aide de traitements, ou obtenues partiellement ; rouge : données non disponibles) :

		Type de donnée
B-Cargo	Données Statistiques	Temps entre gares de fret
		Distance entre gares
		Trafic de marchandises/section (densité moyenne journalière)
		Coûts de transport
		Vitesse commerciale
	Données Spatiales	Localisation des gares
		Réseau

Tableau 5 : Disponibilité des données relatives au transport de marchandises par voie ferrée (B-Cargo)

2.2. Transport de marchandises par route

Tout d'abord, nous sommes partis de l'idée de récolter des données de flux de marchandises afin de localiser les flux dans l'espace et identifier les principaux points de (dé)chargement.

C'est ainsi que nous avons contacté l'INS, qui nous a permis d'obtenir certaines **statistiques relatives au transport routier de marchandises**. Ces statistiques sont les suivantes :

1. Transport routier de marchandises, sur la période 2001-2004 ; ces informations nous sont fournies sous format Excel et reprennent les échanges de produits (classés selon différentes catégories) entre pays de l'Union Européenne.
2. Transports routiers de marchandises effectués par les véhicules belges d'une charge utile d'une tonne et plus (2003) ; ces informations nous sont fournies sous format pdf et sont également disponibles sur le site de l'INS (http://statbel.fgov.be/pub/home_fr.asp).

Malgré que ces statistiques donnent une très bonne idée des flux routiers de marchandises en Belgique, elles ne localisent pas ces flux dans l'espace et ne nous ont donc pas servis dans le cadre de notre recherche. Pour obtenir les coordonnées (x,y) des principaux points de (dé)chargement, nous avons donc réorienté notre recherche vers le GTM (FUCaM), qui nous a fourni une **matrice Origine-Destination des flux routiers** (échelle d'analyse : communes). En partant de cette matrice et d'une **vitesse commerciale théorique**, il devient alors possible d'évaluer la **distance** et le **temps de parcours** entre chaque origine et chaque destination de la matrice (à l'aide du Network Analyst, de ArcGIS 9.1.).

En plus de la matrice OD des principaux flux routiers, les **coûts de transport** par la route ont également pu être obtenus au GTM (FUCaM). Enfin, le **réseau routier** est le même que celui que nous avons utilisé pour le transport de personnes par voiture.

Notons que nous avons aussi contacté certaines personnes de la FEBIAC (Nadine Atanasoff et Michel Maertens), mais celles-ci n'ont pas pu nous aider à obtenir les données que nous recherchions.

Les personnes que nous avons contactées et qui nous ont aidées dans notre recherche sont les suivantes :

- Bart Jourquin, GTM (FUCaM), Tél. : 065/32.32.93, E-mail : bart.jourquin@fucam.ac.be
- Rudy Vandereyt, Attaché INS, Responsable des statistiques du transport routier et de la navigation intérieure, Tél. : 02/548.66.94, E-mail : rudolfus.vandereyt@statbel.mineco.fgov.be
- Hadewych De Sadeleer, Attaché INS, Responsable de la statistique du transport maritime, Tél. : 02/548.64.84, E-mail : hadewych.desadeleer@statbel.mineco.fgov.be
- Anne Van De Voorde, Conseiller INS, Directeur des statistiques des entreprises, des statistiques des transports, Tél. : 02/548.63.01, E-mail : anne.vandevoorde@statbel.mineco.fgov.be
- Thierry Coppens, Attaché INS, Responsable de la statistique des accidents de la route, Tél. : 02/548.62.33, E-mail : thierry.coppens@statbel.mineco.fgov.be

Notons que le tableau 6 résume la disponibilité des données relatives au transport routier de marchandises (vert : données disponibles ; orange : données disponibles à l'aide de traitements, ou obtenues partiellement ; rouge : données non disponibles) :

		Type de donnée
Données Statistiques		Temps entre points de chargement/déchargement
		Distance entre points de chargement/déchargement
		Coût de transport
		Vitesse commerciale (théorique)
Données Spatiales		Localisation des points de (dé)chargement
		Réseau

Tableau 6 : Disponibilité des données relatives au transport routier de marchandises

2.3. Transport de marchandises par voies navigables

Comme pour le transport routier de marchandises, nous sommes partis de l'idée de récolter des données de flux de marchandises afin de localiser les flux dans l'espace et d'identifier les principaux points de (dé)chargement. Une nouvelle fois, l'INS nous a permis d'obtenir les **statistiques relatives au transport de marchandises par voies navigables**. Ces statistiques figurent dans la Publication annuelle de navigation intérieure (2003) et permettent d'obtenir des informations au niveau des flux de marchandises sur chaque section de voie navigable et sur les quantités (dé)chargées en Belgique.

A nouveau, ces statistiques donnent un très bon aperçu des flux de marchandises par voie navigable mais ne nous ont toutefois pas servis dans le cadre de notre recherche (en effet, les flux ne sont pas localisés dans l'espace). La localisation des points de (dé)chargement a finalement été acquise via le GTM (FUCaM), qui nous a fourni une **matrice Origine-Destination des flux de marchandises par voies navigables** ainsi qu'un fichier relatif aux principaux **coûts de transport** par voie navigable. A partir d'une **vitesse commerciale** théorique (tenant compte d'un temps d'éclusage) et de la matrice OD des flux, il devient alors possible d'évaluer la **distance** et le **temps de parcours** entre chaque origine et chaque destination de la matrice (à l'aide du Network Analyst, de ArcGIS 9.1.).

Notons que la localisation des principaux points de (dé)chargement peut également être acquise via des informations/statistiques données par des sites Internet dédiés, tels que celui de la Direction Générale des Voies Hydrauliques (MET, <http://met.wallonie.be/>). Ce dernier dispose non seulement des données sur le **trafic de marchandises par section**, mais aussi sur les **quantités (dé)chargées**. Des cartes du **réseau des voies navigables** peuvent également être obtenues via le MET, mais les plus intéressantes sont retirées du site « Inland Navigation Flanders » (<http://www.binnenvaart.be/>)⁴⁹. L'Office de Promotion des Voies Navigables (OPVN, <http://www.opvn.be/>) dispose probablement aussi d'informations pertinentes sur le transport de marchandises par voies navigables, mais ils n'ont toutefois jamais pris le temps de répondre à notre demande de données.

Enfin, les données spatiales (SIG) du **réseau des voies navigables** et de la **localisation des nœuds** (ports, écluses, etc.) nous ont été transmises par le CIEM (Centre Interuniversitaire d'Etude de la Mobilité).

Les personnes que nous avons contactées et qui nous ont aidées dans notre recherche sont les suivantes :

⁴⁹ Plus précisément : http://www.binnenvaart.be/en_html/ondernemers/index.asp?../klanten/waterwegen.asp.

- Bart Jourquin, GTM (FUCaM), Tél. : 065/32.32.93, E-mail : bart.jourquin@fucam.ac.be
- Hadewych De Sadeleer, Attaché INS, Responsable de la statistique du transport maritime, Tél. : 02/548.64.84, E-mail : hadewych.desadeleer@statbel.mineco.fgov.be
- Jacques Charlier, Chercheur qualifié FNRS et Directeur scientifique au CIEM (Centre Interuniversitaire d'Etude de la Mobilité), Tél. : 010/47.28.79, E-mail : charlier@geog.ucl.ac.be
- Xavier Tackoen, Adjoint à la direction du CIEM (Centre Interuniversitaire d'Etude de la Mobilité), Tél. : 02/650.27.83, E-mail : xtackoen@ulb.ac.be

Notons que le tableau 7 résume la disponibilité des données relatives au transport fluvial de marchandises (vert : données disponibles ; orange : données disponibles à l'aide de traitements, ou obtenues partiellement ; rouge : données non disponibles) :

		Type de donnée
Données Statistiques		Temps entre points de chargement/déchargement
		Distance entre points de chargement/déchargement
		Trafic de marchandises/section (densité moyenne journalière)
		Quantités chargées/déchargées
		Coût de transport
		Vitesse commerciale (estimation possible)
Données Spatiales		Localisation des ports, écluses, ...
		Réseau

Tableau 7 : Disponibilité des données relatives au transport fluvial de marchandises

2.4. Transport aérien

Au niveau du transport aérien, nous avons seulement récolté les données relatives à la **localisation GPS des aéroports** belges (transmis par le CIEM). Puisque tous les terminaux aéroportuaires ne traitent pas la même quantité de marchandises ou – tout simplement – ne disposent pas des infrastructures adéquates pour le transport de marchandises, d'autres données devraient logiquement entrer en ligne de compte, par exemple sur le type d'infrastructures présentes sur le site aéroportuaire (capacité des entrepôts, catégories de produits traités, capital-machine, main d'œuvre, ...).

Les personnes que nous avons contactées et qui nous ont aidées à obtenir les données sont les suivantes :

- Jacques Charlier, Chercheur qualifié FNRS et Directeur scientifique au CIEM (Centre Interuniversitaire d'Etude de la Mobilité), Tél. : 010/47.28.79, E-mail : charlier@geog.ucl.ac.be
- Xavier Tackoen, Adjoint à la direction du CIEM (Centre Interuniversitaire d'Etude de la Mobilité), Tél. : 02/650.27.83, E-mail : xtackoen@ulb.ac.be

3. Autres données

Notons que d'autres données ont été obtenues sur :

- Le **transport par pipeline** ; ces informations nous ont été transmises par le CIEM, sous forme de données SIG
- Le **Réseau Ravel** ; ces informations nous ont été transmises par le CIEM, sous forme de données SIG
- Le **recensement de la population et des logements** (01/10/2001)
- Les différentes **limites administratives** (arrondissements, communes, anciennes communes, secteurs statistiques) ; nous disposons déjà des données à l'UCL et à la KUL (SADL).

Les personnes que nous avons contactées au CIEM et qui nous ont aidées dans notre recherche sont les suivantes :

- Jacques Charlier, Chercheur qualifié FNRS et Directeur scientifique au CIEM (Centre Interuniversitaire d'Etude de la Mobilité), Tél. : 010/47.28.79, E-mail : charlier@geog.ucl.ac.be
- Xavier Tackoen, Adjoint à la direction du CIEM (Centre Interuniversitaire d'Etude de la Mobilité), Tél. : 02/650.27.83, E-mail : xtackoen@ulb.ac.be

Au niveau de la Région Wallonne (MET), d'autres **données cartographiques** (sous licence temporaire) nous ont encore été transmises sur :

- Les réseaux routier, ferroviaire et Ravel, ainsi que sur les pistes cyclables (Direction des données routières)
- L'axe des voies navigables et non navigables, gérées par la Direction Générale des Voies Hydrauliques (DGVH)
- La position (approximative) des barrages-écluses et des ouvrages de franchissement (écluses, ascenseurs, et plan incliné)

Les personnes qu'il faut contacter pour obtenir ces données sont les suivantes :

- Laurent Calay, MET – D114, Direction des données routières, Tél. : 081/77.27.49, E-mail : lcalay@met.wallonie.be
- Marina Thunus, MET – DGVH, Direction des Etudes hydrologiques et des Statistiques, Tél. : 081/77.30.11, E-mail : mthunus@met.wallonie.be

4. Quelques sites Internet consultés

a. Transport ferroviaire :

- i. SNCB (Société Nationale des Chemins de fer Belges, passagers) : <http://www.b-rail.be/>
- ii. SNCB (Société Nationale des Chemins de fer Belges, brochures) : <http://www.b-rail.be/corp/F/group/pdf/files/index.php>
- iii. SNCB (Société Nationale des Chemins de fer Belges, B-Cargo) : http://portal.bcargo.be/portal/page?_pageid=515,410636&_dad=portal&_schema=PORTAL
- iv. BelRail : <http://www.belrail.be/F/index.php>

b. Transport routier :

- i. INS (Institut National de Statistique, portail mobilité) :
http://statbel.fgov.be/port/mob_fr.asp
- ii. Touring Secours : <http://www.touring.be/>
- iii. Police fédérale : <http://www.polfed.be/>
- iv. Mobiliteitsplan Vlaanderen : <http://viwc.lin.vlaanderen.be/mobiliteit/>
- v. SPF Mobilité et Transports : <http://www.mobilit.fgov.be/fr/index.htm>
- vi. MET (Ministère wallon de l'Équipement et des Transports, Autoroutes et routes de Wallonie) : <http://routes.wallonie.be/>
- vii. Verkeerscentrum Vlaanderen : <http://www.verkeerscentrum.be/>
- viii. TEC (Transports en commun, bus en Région Wallonne) :
<http://www.infotec.be/>
- ix. De Lijn (bus en Région Flamande) : <http://www.delijn.be/>
- x. STIB (Société des Transports Intercommunaux Bruxellois, bus en Région bruxelloise) : <http://www.stib.irisnet.be/>
- xi. Mobilité en Wallonie : <http://mobilite.wallonie.be/>
- xii. Le Moniteur Automobile : <http://www.moniteurautomobile.be/>

c. Transports fluvial et maritime :

- i. AWZ (Administratie Waterwegen en Zeewegen) :
<http://www.lin.vlaanderen.be/awz/html/home.htm>
- ii. OPVN (Office de Promotion des Voies Navigables) :
<http://www.opvn.be/>
- iii. ITB (Institut pour le Transport par Batellerie) : <http://www.itb-info.be/fr/index.htm>
- iv. Inland Navigation Flanders :
http://www.binnenvaart.be/en_html/start/indexfull.asp?start.asp
- v. ISEMAR (Institut Supérieur d'Économie Maritime) :
<http://www.isemar.asso.fr/>
- vi. Vlaamse Havencommissie :
http://www.serv.be/dispatcher.aspx?page_ID=05-00-00-000
- vii. Port d'Antwerpen : <http://www.portofantwerp.be/>
- viii. Port de Zeebrugge : <http://www.zeebruggeport.be/>
- ix. Port de Bruxelles : <http://www.havenvanbrussel.irisnet.be/>
- x. Port de Gand : <http://www.havengent.be/>
- xi. Port Autonome de Charleroi : <http://charleroi.portautonome.be/>
- xii. Port Autonome de Liège : <http://www.liege.port-autonome.be/>
- xiii. Port Autonome de Namur : <http://www.portnamur.be/pan.taf?IdNav=5>

d. Cartographie :

- i. GIS Vlaanderen : <http://web.gisvlaanderen.be/gis/>
- ii. Portail cartographique de la Région Wallonne (MET) :
<http://cartographie.wallonie.be/NewPortailCarto/index.jsp>
- iii. Département Géomatique Bruxelles :
<http://www.cirb.irisnet.be/site/fr/departements/geomat>

e. Autres :

- i. GRT (Groupe de Recherche sur les Transports, FUNDP) :
<http://www.grt.be/francais/recherches.html>
- ii. STRATEC : <http://www.stratec.be/>

- iii. ORATE (Observatoire en Réseau de l'Aménagement du Territoire Européen) : <http://www.ums-riate.com/tir.php>
- iv. Eurostat : http://epp.eurostat.cec.eu.int/portal/page?_pageid=0,1136228,0_45572945&_dad=portal&_schema=PORTAL
- v. Vlaamse statistieken : <http://aps.vlaanderen.be/>
- vi. Projet NODUS (Groupe Transport et Mobilité, FUCaM) : <http://www.fucam.ac.be/Pages%20personnelles/Jourquin%20Bart/site/nodus/fra/index.php>
- vii. CCE (Conseil Central de l'Economie) : <http://www.ccecrb.fgov.be/>
- viii. Planitram : <http://www.planitram.be/>

Part III: Methodology and results

Introduction

Cette troisième partie du travail s'occupe surtout de décrire la méthodologie et les résultats obtenus pour chacun des indicateurs. Chaque analyse (ou application de mesure) sera décrite dans un point bien distinct des autres analyses, de sorte qu'un lecteur extérieur à la recherche puisse facilement retrouver la section qui l'intéresse sans pour autant lire l'ensemble du rapport. Il n'est pas rare que certaines de ces analyses soient basées sur d'autres notions ou résultats du rapport mais, dans ce cas, nous ne manquerons pas de reporter le lecteur vers les sections appropriées.

Les différentes mesures d'accessibilité appliquées dans cette troisième partie sont les suivantes : (1) Accessibilité aux villes et aux services, (2) Accessibilité potentielle aux emplois et à la population, (3) Accessibilité aux aéroports belges, (4) Accessibilité aux gares belges, (5) Accessibilité ferroviaire des gares IC : structure fonctionnelle du réseau, (6) Accessibilité aux secteurs à fortes densités d'emploi (à partir des gares), (7) Accessibilité des / aux stations de métro bruxelloises, (8) Accessibilité aux arrêts de transports en commun (STIB, TEC, De Lijn) : buffers et isodistances, (9) Accessibilité multimodale (transports publics), et (10) Essai de synthèse statistique basée sur plusieurs variables d'accessibilité. Notons que la partie sur le coût global occasionné par l'utilisation journalière de la voiture a été placée en annexe de ce rapport (annexe 4).

En général, chaque analyse est structurée de la manière suivante :

1. Données utilisées dans le cadre de l'analyse considérée
2. Méthodologie et différentes étapes du travail
3. Analyse des résultats et discussion
4. Critique des résultats

De manière globale, le contenu du rapport est très détaillé et a pour but de faciliter des travaux ultérieurs en matière d'accessibilité. Le rapport tient également compte des remarques / suggestions qui ont été faites par les membres du comité de suivi. Au niveau de la critique des résultats, une liste non-exhaustive des points positifs et négatifs est dressée pour chacune des analyses. S'il y a lieu, certaines idées / perspectives sont données afin d'améliorer les mesures d'accessibilité dans des recherches ultérieures. Enfin, notons que certains résultats cartographiques sont insérés dans le corps du rapport (à la fin de chaque section).

1. Accessibilité aux villes et aux services

1.1. Données utilisées

Les différentes données **utilisées** dans cette première analyse sont les suivantes :

- Banque de données routières disponibles à l'UCL et à la KUL (627.856 arcs)
- Banque de données sur la population et l'emploi par commune (01/10/2001). Source : INS (voir <http://statbel.fgov.be/>)
- Supports cartographiques du réseau routier et des différentes limites administratives du territoire belge (arrondissements, communes, anciennes communes, secteurs statistiques). Source : IGN.
- Typologie des communes. Source : Van Hecke, 1998.

1.2. Méthodologie et différentes étapes du travail

Avant d'aborder la méthodologie, il convient de donner les informations suivantes :

- **Aire d'étude** : Belgique
- **Echelle d'analyse** : INS 6 (anciennes communes, datant d'avant la fusion de 1977)
- Situation en **heures creuses** (21h00-5h00)) et situation durant les **heures de pointe** (7h00 à 10h00 et 15h00-20h00)
- **Logiciel informatique** utilisé : ArcGIS 9.1. (extension : Network Analyst)

Signalons encore que les notations relatives aux différentes cartes sont les suivantes :

- $k = 1$ (ou H_1) correspond aux grandes villes (par exemple, Bruxelles et Gent)
- $k = 2$ (ou H_2) correspond aux villes régionales (par exemple, Brugge et Mons)
- $k = 3$ (ou H_3) correspond aux petites villes bien équipées (par exemple, Tienen et Marche-en-Famenne)
- $k = 4$ (ou H_4) correspond aux petites villes convenablement équipées (par exemple, Lommel et Dinant)
- $k = 5$ (ou H_5) correspond aux petites villes faiblement équipées (par exemple, Beveren et Gembloux)

1.2.1. Méthodologie

Contrairement à un certain nombre d'indicateurs, la méthodologie adoptée ici ne considère pas l'ensemble des déplacements entre i (origine) et j (destination). Au lieu de se concentrer sur la distance (temporelle) d'un lieu i à tous les autres lieux j , elle étudie l'accessibilité d'un lieu i aux centres (*Central Business Districts*, CBD) des villes les plus proches. En effet, dans la vie de tous les jours, la majorité des déplacements est généralement faite vers les grandes villes, qui correspondent à des lieux de concentration de population et d'activités économiques. Dans le cas de plus petites villes comme Gembloux, Binche, Blankenberge ou Beveren, on ne parlera pas de CBD mais de centres administratifs. Les origines et destinations considérées ici sont donc les centroïdes des secteurs administratifs (A00 ou A000) de chaque ancienne commune (avant la fusion de 1977).

Dans cette section, on attribuera à chaque ville un niveau hiérarchique H_k ($k = 1, \dots, 5$), le niveau 1 étant le plus élevé dans la hiérarchie urbaine. Cette hiérarchie est tirée de la typologie des communes, établie par E. Van Hecke (1998) sur base de la centralité des communes belges et du type de facilités retrouvées dans chacune d'elles. Etant donné que nous nous concentrons essentiellement sur les distances temporelles (temps de parcours) entre chaque ancienne commune i et chaque CBD (ou centre administratif), nous tenons donc compte de la plupart des déplacements qui sont effectués dans la réalité (ou qui seront potentiellement effectués dans le futur). En effet, nous considérons ici la composante majeure des déplacements (c'est-à-dire ceux ayant trait au travail, aux loisirs, ou encore aux besoins du ménage).

Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, notre méthodologie telle qu'elle a été établie ne se préoccupe pas de calculer la distance (temporelle) entre un lieu i et tous les autres lieux j (ce qui correspond à la mesure de l'indice de Shimbel) ; nous avons préféré nous concentrer sur des couples origines-destinations pour lesquels des déplacements sont vraiment effectués dans la vie de tous les jours. Par conséquent, nous pouvons définir notre mesure de l'accessibilité comme se trouvant à mi-chemin entre les mesures de distances dites complexes (*complex distance measures*) et celles de contour (ou *contour measures*) (voir partie I du rapport, section 3.2.2.). En effet, seule une partie des couples O-D sont considérés (et non la totalité, comme c'est le cas dans la mesure de l'indice de Shimbel) ; de plus, nous verrons que les mesures se basent sur un temps de parcours minimum pour atteindre une ville belge.

Avant de poursuivre, précisons que l'analyse effectuée ici requiert une **hypothèse de travail**, qui est la suivante : tout individu a une connaissance parfaite de chacun des itinéraires possibles entre une origine i et une destination j , de sorte qu'il prenne à chaque fois le chemin le plus **rapide**. Chaque individu est donc une sorte de « robot », identique à tous les autres et pour qui l'erreur (ou l'éventualité de prendre un autre chemin) n'existe pas.

1.2.2. Agrégation des données et calcul du temps de parcours sur réseau routier

Les différentes **étapes du travail** sont les suivantes :

- a) Agrégation des différentes catégories de routes en un seul réseau (mais qui reste hiérarchisé, grâce à l'affectation d'attributs attachés à chacun des arcs).
- b) Pour chaque arc, affectation d'attributs relatifs à :
 - i. La catégorie (ou l'importance) de l'arc. Par exemple, les catégories 1 et 2 du réseau routier correspondent généralement aux autoroutes et autres voies rapides.
 - ii. La vitesse maximale autorisée sur les arcs (théorique) est utilisée ici pour évaluer le temps de parcours. Les différentes valeurs de vitesse qui sont reprises sont égales à 120, 90, 70, 50 ou 30 km/h, selon la catégorie de l'arc (autoroute, nationale, rues, ...).
 - iii. La distance kilométrique sur réseau routier (déjà calculé dans la base de données originales).
- c) A partir des différents attributs, nous avons pu calculer le temps de parcours d'un point i à un point j sur le réseau routier (aussi bien pour les quatre-roues motorisés que pour les deux-roues non motorisés, ainsi que pour la marche).

1.2.3. Correction du temps de parcours à l'aide d'une fonction d'impédance

A la suite de plusieurs essais de calculs sur réseau routier, il s'est avéré que le temps de parcours était sous-estimé par rapport à la réalité (surtout dans le cas de déplacements urbains ou transitant par des régions urbaines, ou encore qui ont pour origine et/ou pour destination une région urbaine). Aussi, pour corriger le biais, nous avons affecté une **valeur d'impédance** à chacun des arcs du réseau, permettant ainsi d'allonger le temps de parcours effectué sur ces derniers. Le but de l'intégration de cette valeur d'impédance dans le calcul du temps de parcours est donc de refléter l'influence de divers **obstacles** présents sur le réseau routier, tels que des ronds-points, des carrefours, des rétrécissements de bandes, des dos-d'âne, ou encore des passages pour piétons. Etant donné que de tels obstacles se retrouvent généralement dans les grandes villes (ou encore dans les zones d'habitats, dans les pôles d'emploi, ...), nous avons donc décidé d'utiliser une impédance qui est fonction, d'une part, de la densité de population et d'emplois par commune, et d'autre part, d'un coefficient α qui doit encore être calibré. Formellement, la fonction d'impédance I que nous avons utilisée dans ce travail s'écrit de la manière suivante ⁵⁰:

$$I = I_{emplois} + I_{population} + 1$$
$$= (1 - e^{-\alpha \cdot J_i}) + (1 - e^{-\alpha \cdot P_i}) + 1$$

Où $I_{emplois}$ est l'impédance relative à la densité d'emplois de la commune i
 $I_{population}$ est l'impédance relative à la densité de population de la commune i
 α est un coefficient devant être calibré (dans notre cas, $\alpha = 0,000167$).
 J_i est la densité d'emplois dans la commune i
 P_i est la densité de population dans la commune i

Et donc, le **temps de parcours entre i et j** (noté T_{ij}) se note comme suit :

$$T_{ij} = t_{ij} \cdot I$$
$$= t_{ij} + t_{ij} \cdot [(1 - e^{-\alpha \cdot J_i}) + (1 - e^{-\alpha \cdot P_i})]$$

Où t_{ij} est le temps de parcours entre i et j , mesuré sans impédance

Ainsi, chaque commune et chaque arc du réseau routier qui la traverse se verront attribuer une valeur d'impédance qui sera fonction de la densité d'emplois et de population. Le temps de parcours T_{ij} (mesuré avec impédance) est donc toujours égal ou supérieur à t_{ij} (mesuré sans impédance). Dans le cas où la congestion n'est pas incluse et que seuls les obstacles (urbains) sont pris en compte (autrement dit, on se trouve dans une situation en heures creuses, par exemple, entre 21h00 et 5h00), nous verrons dans la section 2.1.4. (calibration du coefficient α) que le coefficient $\alpha = 1/C = 1/6000 = 0,000167$.

⁵⁰ Notons que nous supposons ici un poids identique de la population et des emplois sur la génération de trafic. Idéalement, un poids devrait être intégré dans l'équation afin de donner une importance différente selon qu'il s'agit de la densité de population ou de la densité d'emploi.

Dans le calcul de α , le facteur C pourrait indiquer l'état de fluidité du réseau routier. Ainsi, lorsque C augmente (ou lorsque α diminue), la valeur de l'impédance croît moins vite en fonction de la densité. En d'autres termes, des faibles valeurs de C correspondent à un état de faible congestion du réseau fluide, tel qu'on le retrouve pendant les heures creuses de la journée. Graphiquement, la forme des courbes pour des faibles valeurs de C est presque linéaire (voir Figure 1). Inversement : lorsque C diminue, l'impédance croît très rapidement (croissance très forte pour des faibles valeurs de densité) et on peut donc supposer que le réseau est très saturé (heures de pointe). Dans ce cas, on obtient des courbes de forme logarithmique et la « capacité » (c'est-à-dire la valeur maximale que l'impédance peut prendre) est très vite atteinte.

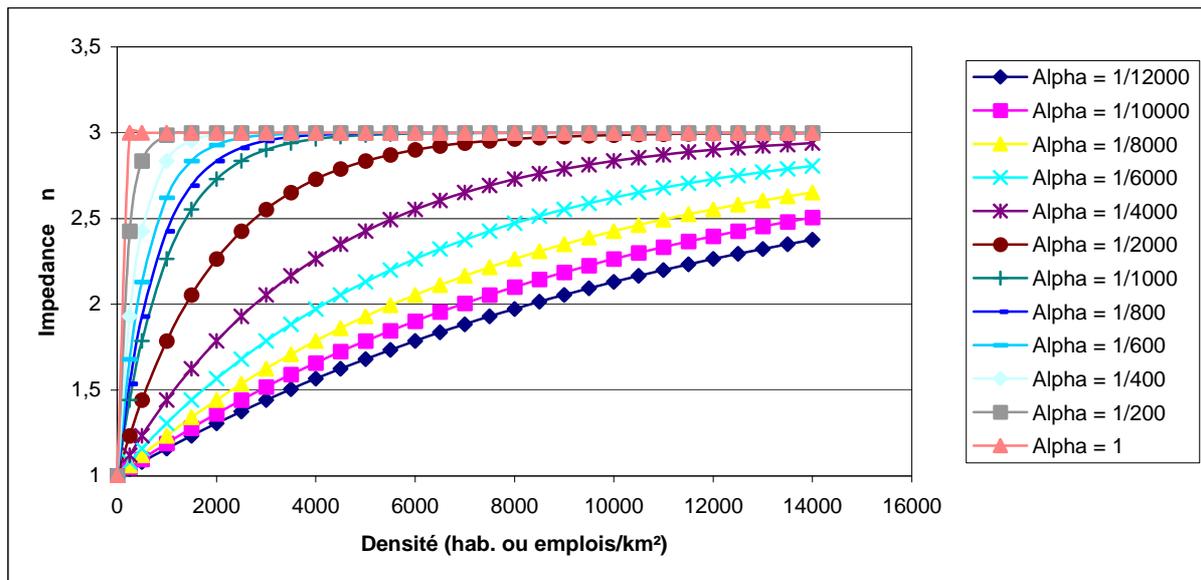


Figure 1 : Variation de la valeur d'impédance en fonction de la densité (population ou emploi) et du coefficient α

Dans la réalité, α ne prend pas une infinité de valeur, mais reste dans un intervalle bien délimité. En effet, la situation extrême pour laquelle α prend une valeur de 1 suppose que, quelle que soit la densité de population et d'emploi, le réseau se trouve dans un état de congestion généralisé. Cette situation est loin d'être réaliste vu qu'elle suppose un degré de congestion qui est indépendant de la localisation sur le territoire belge (ce qui reviendrait à mettre la plupart des communes ardennaises sur le même piédestal que Bruxelles). En outre, l'autre extrême, c'est-à-dire la situation où le coefficient α tendrait vers l'infini, n'est également pas réaliste puisqu'il reviendrait à supprimer toute impédance causée par des obstacles urbains (tels que des feux rouges, des rond-points, ...). C'est pourquoi, pour les heures creuses et les heures de pointe, il nous faudra calibrer le coefficient α .

1.2.4. Calibrage du coefficient α

La valeur du coefficient α a été calibrée en fonction du calculateur d'itinéraire Viamichelin et des connaissances de terrain dont nous disposons. Dans une première étape, nous avons tenté de calibrer α sur base des données de temps de parcours de l'enquête MOBEL (pour les heures creuses), mais, suite à certains problèmes inhérents à la base de donnée, nous nous sommes rendus compte que nous ne pouvions pas le faire sans introduire un certain nombre

d'erreurs dans notre modélisation. En effet, la base de données établie par l'enquête MOBEL ne nous permettait pas d'obtenir une valeur correcte, c'est-à-dire susceptible de donner des temps de parcours proches de la réalité.

Les problèmes inhérents à la base de données des temps de parcours (MOBEL) sont les suivants :

- **Nombreuses erreurs d'encodage** (notamment lorsque les heures de départ et d'arrivée sont égales à 00h00). Par exemple, pour un cas en particulier, MOBEL indique un temps de trajet (moyen) égal à 10 minutes entre De Panne et Schaerbeek, alors qu'en réalité il est d'environ 1h30 si l'on n'excède pas les limitations de vitesse.
- **Les personnes interrogées par les enquêteurs sur- ou sous-estimaient très souvent le temps de parcours** qu'ils faisaient pour un couple ij déterminé. La part de subjectivité n'est donc pas négligeable, ce qui introduit un certain biais dans l'estimation du temps de parcours (en effet, le temps de trajet entre i et j sera toujours considéré différemment selon l'individu). Par exemple, pour un déplacement entre Lessines et Ottignies-Louvain-la-Neuve en heures creuses (c'est-à-dire entre 21h00 et 5h00), $t_{mobel} = 15$ minutes alors que $t_{viamichelin} = 58$ minutes.

La base de données MOBEL ne nous étant d'aucune utilité pour calibrer α , nous avons donc décidé d'utiliser les temps de parcours générés par le calculateur d'itinéraire Viamichelin ainsi que les connaissances (de temps de parcours) dont nous disposons en la matière (notamment dans le but de vérifier les résultats donnés par le calculateur pour un itinéraire bien précis). Ainsi, pour un échantillon **aléatoire** de couples O-D et pour une valeur de $\alpha = 0,000167$ dans notre modèle (cf. équation de temps de parcours T_{ij}), la comparaison entre les deux séries de données temporelles (modèle et Viamichelin) donne un coefficient de corrélation de Pearson égal à 0,974 (voir Figure 2), ce qui est nettement supérieur à celui obtenu lors de la comparaison entre les résultats de notre modèle et les données de temps de parcours MOBEL ($\rho = 0,598$).

Notons que l'idée de comparer des temps de parcours estimés par des calculateurs d'itinéraires (aussi appelés « distanciers ») avec ceux calculés par des modèles n'est pas nouvelle et a déjà fait l'objet d'autres recherches, notamment en France (rapport au bureau du COPAR, 2006).

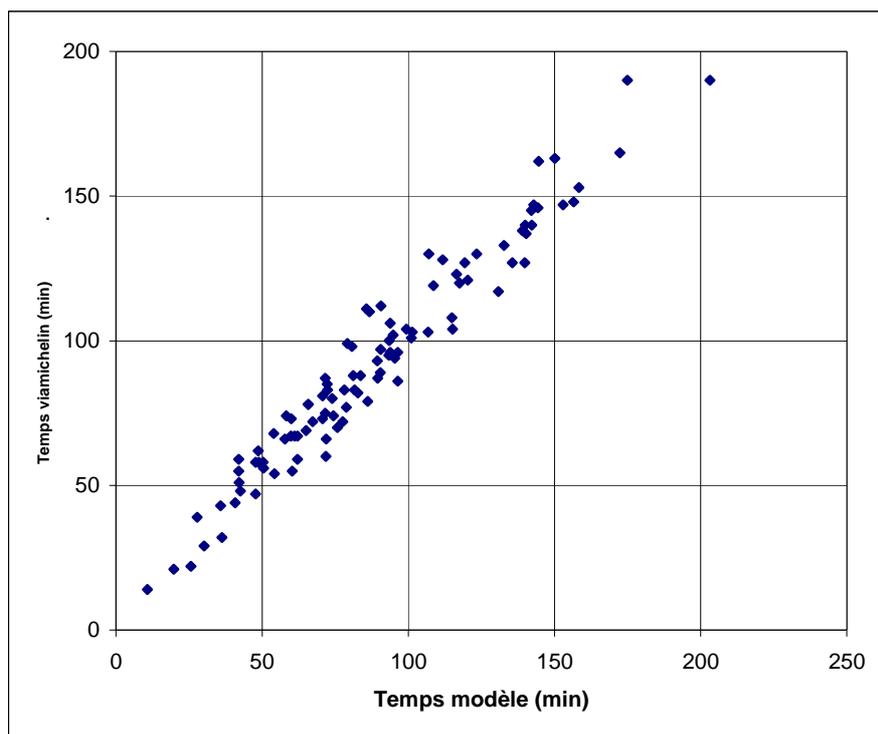


Figure 2 : Corrélation entre les deux séries de données temporelles (Viamichelin et modèle)

1.2.5. Construction d'une matrice de temps de parcours : description des traitements

Maintenant que α est calibré, nous disposons de tous les outils pour construire une matrice OD des temps de parcours. Mais avant tout, la banque de données routières dont nous disposons (et qui rassemble les arcs et leurs attributs respectifs) doit être convertie en fichier « Network Dataset » pour pouvoir être utilisée dans l'extension **Network Analyst**. Malgré une mise en œuvre plus complexe et des temps de calcul plus longs, cette extension d'ArcGIS 9.1 est préférée au Spatial Analyst, notamment parce que le temps de parcours est calculé le long du réseau routier et non de manière euclidienne (comme c'est le cas pour le Spatial Analyst). En effet, le Spatial Analyst peut introduire un biais important dans le calcul du temps de parcours, surtout dans le cas des autoroutes (qui ne sont ponctuées que de quelques sorties) et des routes sinueuses (telles qu'on en trouve dans le sud du pays).

L'objectif étant de modéliser les temps de parcours entre chaque ancienne commune, il nous faut donc construire des origines (à partir desquelles le déplacement est initié) et des destinations (vers lesquelles le déplacement s'effectue). Cependant, afin de limiter le temps de traitement, nous ne pouvons pas nous permettre de construire un nombre infini de points entre lesquels les déplacements s'effectuent. C'est pourquoi nous nous sommes limités à ne prendre en compte qu'un seul point (origine et/ou destination) par ancienne commune. Après avoir exploré plusieurs possibilités, les origines et les destinations utilisées dans la matrice OD correspondent finalement aux **centroïdes** des secteurs statistiques administratifs/centraux (ex : A00, A000, B00, ...), présents dans la plupart des différentes anciennes communes. Pour les anciennes communes n'ayant pas de secteur statistique administratif, nous utilisons tout simplement les centroïdes des anciennes communes. L'utilisation des centroïdes comme

origines (ou destinations) se justifie par le fait que le centroïde géométrique d'un objet coïncide toujours avec son centre de masse si la densité est uniforme.

Après avoir défini la méthode la plus pertinente pour construire les origines et les destinations de notre matrice (méthode des centroïdes), il nous restait encore à déterminer comment construire les centroïdes. Parmi les différentes alternatives possibles, trois ont retenu notre attention : les surfaces bâties de Corine Landcover, les anciennes communes, et les secteurs statistiques. La première alternative a rapidement été écartée, principalement parce que les surfaces bâties ne représentaient pas toujours bien la concentration de population et d'activités. Pour ce qui est des autres alternatives, les **centroïdes des secteurs statistiques** ont été préféré à ceux des anciennes communes, notamment parce que l'échelle d'analyse est plus fine. En outre, la construction de centroïdes à partir de la simple forme géométrique des anciennes communes reste assez peu représentative de l'ensemble des points à partir desquels le déplacement est initié ou se termine.

L'utilisation des centroïdes des secteurs statistiques (plus de 20.000 nœuds) n'est toutefois pas sans problème puisque la quantité de données à traiter est bien plus importante que dans le cas des centroïdes des anciennes communes (2616 nœuds). C'est pourquoi, pour construire les origines et destinations des déplacements, nous n'avons sélectionné qu'un seul secteur statistique par ancienne commune. Les secteurs statistiques **administratifs** ont été choisis, puisque ceux-ci représentent parfaitement bien la localisation de la plus forte concentration de population de l'ancienne commune considérée (c'est-à-dire là où la plupart des déplacements commencent et/ou se terminent).

Suite à l'analyse des différentes origines et destinations obtenues grâce à la méthode des centroïdes (certaines erreurs apparaissant dans la matrice OD, portant notamment sur le nombre de nœuds), il s'est avéré que certaines **corrections** devaient encore être apportées :

- i. **Première correction** : Certains secteurs statistiques administratifs étant disjoints, nous n'avons sélectionné qu'une seule des deux portions.
- ii. **Deuxième correction** : Pour des raisons pratiques (au niveau des traitements), il nous a fallu relocaliser certains centroïdes qui étaient générés en dehors de leur ancienne commune respective.

Une fois que les origines et les destinations ont finalement été obtenues (2616 nœuds), nous avons introduit ces derniers dans l'extension Network Analyst. Celle-ci a été chargée de générer les différents points nécessaires à l'obtention d'une matrice OD (qui reprend les temps de parcours entre les origines et les destinations). A noter que :

- i. L'éloignement d'un point (O ou D) par rapport au réseau routier a été fixé à un maximum de 100 mètres. En d'autres termes, nous avons imposé une **tolérance** (distance maximum) de **100 mètres** par rapport au réseau.
- ii. Certains points étant au-delà de cette limite, nous avons procédé à une **relocalisation** en-deça des 100 mètres tolérés. Sauf quelques rares exceptions, cette relocalisation n'excède généralement pas les 200 mètres par rapport aux coordonnées du centroïde (les trois grosses exceptions correspondent à des communes situées dans l'est de la Belgique, pour lesquelles la densité du réseau routier est très faible).

Après avoir relocalisé une dernière fois certains points, nous avons généré les origines et les destinations nécessaires à l'obtention de plusieurs matrices OD. Par exemple, pour évaluer le temps de parcours d'une commune i vers une grande ville de niveau hiérarchique H_1 (par exemple, Bruxelles ou Antwerpen), il a fallu générer :

- i. 5 destinations, correspondant chacune au CBD d'une ville de niveau hiérarchique H_1 , et
- ii. 2611 origines (= 2616 – *nombre de destinations*), chaque origine correspondant au centroïde du secteur administratif d'une ancienne commune.

En fonction du nombre d'origines et de destinations prises en compte, on verra que le **temps de traitement/calcul** varie de quelques minutes à ... quelques jours. Ce temps de traitement est, bien sûr, fonction :

- i. Du **nombre d'arcs** inclus dans la banque de données routières. Une précision élevée de la banque de données, et donc un grand nombre d'arcs, augmente significativement le temps de traitement.
- ii. Du **nombre d'origines et de destinations** considérées. Le nombre d'origines et de destinations augmente aussi le temps de traitement.

Lorsque le nombre d'origines, de destinations et d'arcs est élevé, le temps de traitement (et de sauvegarde) devient évidemment très long. Il est également **probable** que les caractéristiques / performances du poste de travail (ordinateur) influent sur le temps de traitement.

1.2.6. Analyse de l'accessibilité pour des heures creuses

Dans le cadre de la méthodologie telle qu'elle a été décrite ci-dessus, nous avons généré plusieurs matrices OD, qui ont pour but d'analyser le temps de parcours minimum qui sépare une ancienne commune i d'une ville de niveau hiérarchique k ($k = 1, \dots, 5$ ⁵¹). Les résultats produits par l'extension Network Analyst se présentent sous forme de tableaux où on a, dans chacun d'eux, une colonne qui rassemble les temps de parcours entre les différentes origines et destinations considérées. Après reconstitution de tels tableaux sous une forme qui se rapproche plus des matrices OD classiques, les résultats ont finalement pu être cartographiés.

Dans un premier temps, nous évaluerons le temps de parcours minimum vers chacun des cinq niveaux hiérarchiques considérés, et, dans un deuxième temps, nous nous occuperons de calculer le temps de parcours minimum vers un ensemble de villes de niveau hiérarchique k **plus élevé**. Dans ce dernier cas, nous considérerons un ensemble de villes-destination de plus en plus large, le but étant d'évaluer l'accessibilité ou la périphéralité d'une ancienne commune vers un ensemble de plus en plus grands de villes. A noter que cet ensemble s'élargit de manière très logique, descendant dans la hiérarchie des villes de niveau hiérarchique k ; par exemple, on évalue le temps de parcours minimum vers les villes H_1 ou H_2 , puis vers les villes H_1, H_2 ou H_3 , etc. Signalons encore que la périphéralité est synonyme d'inaccessibilité, ou d'accessibilité peu élevée aux activités ; en général, **une région périphérique est définie comme une région où l'accessibilité est faible** (Keeble *et al.*, 1988 ; Spiekermann and Neubauer, 2002).

⁵¹ Le temps de parcours vers H_6, H_7 et H_8 n'est pas calculé car, dans ce cas, il ne s'agit plus de villes mais de communes moins importantes.

Dans le premier cas de figure (i) (temps de parcours entre une ancienne commune i et une ville de niveau hiérarchique k), on note que :

$$A_i = \text{Min } t_{ik}$$

Où A_i est une mesure de l'accessibilité de l'ancienne commune i vers la ville de niveau hiérarchique k , et t_{ik} représente le temps de parcours entre l'ancienne commune i et la ville de niveau hiérarchique k ($k = 1, \dots, 5$). Puisque nous prenons des temps de parcours minimum entre chaque origine (i) et chaque destination (j), nous faisons donc l'hypothèse que tout le flux se répartit sur un seul itinéraire, et que, quelle que soit son importance, il ne sature jamais d'axe routier (ce qui n'est pas toujours représentatif de la réalité, surtout pour les heures de pointe ; voir section 2.4. pour plus de détails).

Le premier cas de figure est représenté par les Cartes 1, 2, 3, 4 et 5. Chacune de ces cartes donne le temps de parcours minimum (le long du réseau routier) pour aller d'une ancienne commune i vers la ville la plus proche de niveau hiérarchique k . Sur la Carte 1 ($k = 1$), on remarque ainsi la très forte périphéralité du sud-est du pays (Lorraine belge) par rapport aux grandes villes. En effet, en partant des communes situées dans le sud-est du pays, il faut entre 1h00 et 1h45 pour rejoindre une grande ville belge. Il en est de même pour d'autres anciennes communes situées au nord-ouest (Flandre Occidentale), au nord-est (province du Limbourg), et à l'est du pays (Communauté germanophone). Une dernière remarque intéressante concerne les communes traversées par des autoroutes, qui ne sont pas toujours aussi accessibles qu'on pourrait le croire. En effet, seules celles qui sont proches des sorties d'autoroutes bénéficient d'un gain d'accessibilité significatif. Par ailleurs, les principaux « corridors » ne se trouvent pas dans les anciennes communes traversées par des autoroutes mais bien dans celles traversées par des nationales et chaussées (ce qui s'explique par l'accès/interface qui est très souvent direct(e) entre ces dernières et les zones d'activités et de population ; voir figure 3). D'où notre préférence pour l'extension Network Analyst de ArcGIS 9.1, qui calcule des distances le long du réseau (ce qui n'est pas réalisable à l'aide du Spatial Analyst).



Figure 3 : L'interface entre les centres de population et le réseau routier est très différente selon le type de voirie considéré. Alors que les autoroutes ne permettent pas d'accès direct vers ces centres (sauf aux sorties), les nationales / chaussées donnent la possibilité de s'arrêter en certains points pour accéder quasi-directement aux habitations et commerces.

Pour les autres valeurs de k ($k = 2, 3, 4$ ou 5), chacune des cartes correspondantes montre à nouveau les communes très périphériques par rapport à chacun des niveaux hiérarchiques (et donc par rapport à certains types de services). Ainsi, lorsqu'on analyse l'accessibilité en voiture vers les villes de niveau H_2 ($k = 2$; cf. Carte 2), on observe un manque d'accessibilité pour les communes situées au nord (nord d'Antwerpen), au nord-est (arrondissement de Maaseik), au nord-ouest (arrondissements d'Ieper et Veurne), et dans le sud du pays (Fagnes

et arrondissements de Dinant, Huy, Verviers, Marche-en-Famenne, Neufchâteau et Bastogne). Dans le cas où $k = 3$, (cf. Carte 3), le nombre de régions périphériques diminue un peu grâce au plus grand nombre de petites villes bien équipées (villes de niveau hiérarchique H_3). Les régions identifiées comme peu accessibles sont donc le nord des provinces d'Antwerpen et du Limbourg, les Fagnes, la Lorraine belge, la Communauté germanophone, et le nord de l'arrondissement de Bastogne. Dans le cas où $k = 4$ (voir Carte 4), les régions les plus périphériques sont essentiellement les communes frontalières de la province du Hainaut et de celle d'Antwerpen (ainsi que quelques autres communes dans les provinces de Liège, de Namur et de Flandre Orientale), le nord-est de la province du Brabant Flamand, et les arrondissements de Marche-en-Famenne et de Huy. Enfin, lorsque $k = 5$ (voir Carte 5), nous constatons que les régions dont le temps de trajet est le plus long pour rejoindre une ville de niveau H_5 sont la province du Luxembourg et les arrondissements de Eeklo, Gent, Oudenaarde, Dinant et Verviers.

Dans le second cas de figure (ii) (temps de parcours entre une ancienne commune i et la ville de niveau hiérarchique k qui est la plus proche, parmi un ensemble de villes de niveau hiérarchique k plus élevé), on note que :

$$A_i = \text{Min} (t_{ik=1}, \dots, t_{ik=n})$$

Où n = dernier niveau hiérarchique considéré dans l'analyse. Ce second cas de figure est illustré par les Cartes 6, 7, 8 et 9. Le principe de ce genre de méthodologie consiste à prendre, à chaque étape ou « itération », un niveau hiérarchique k supplémentaire pour évaluer l'accessibilité des communes. A chaque itération, on rajoute dans le choix de l'individu un certain nombre de villes vers lesquelles il est possible de se déplacer pour disposer d'un service quelconque. Chaque itération a donc pour conséquence de diminuer le temps de trajet qu'il faut effectuer pour rejoindre la ville équipée la plus proche. La figure 4 montre ainsi que le temps de trajet maximum (en heures creuses) pour rejoindre une ville de niveau H_1 , H_2 , H_3 , H_4 ou H_5 est de 40 minutes.

Au final, on obtient les communes les plus éloignées de toute ville belge plus ou moins bien équipée. Ainsi, dans le cas de la dernière itération (pour laquelle nous calculons le temps de trajet minimum pour aller d'une commune i vers une ville de niveau H_1 , H_2 , H_3 , H_4 ou H_5), nous observons que les régions les plus éloignées de toute ville et de tout service sont le sud de l'arrondissement de Dinant, le triangle Anthisnes – La Roche-en-Ardenne – Vielsalm, et certaines communes faisant partie des arrondissements de Neufchâteau, Virton, Verviers, Thuin, et même Antwerpen. A part ces quelques exceptions, la Carte 13 montre une **situation proche de l'équité**, pour laquelle l'accessibilité aux villes et aux services est relativement élevée.

Enfin, un autre résultat très intéressant (et très fort) qui découle de l'utilisation du Network Analyst est la mise en évidence de communes très périphériques (par exemple, dans les Fagnes ou encore à l'est et au nord-est d'Antwerpen), malgré la présence d'une autoroute qui passe sur leur territoire. Ceci s'explique tout simplement par l'absence de sortie(s) d'autoroute.

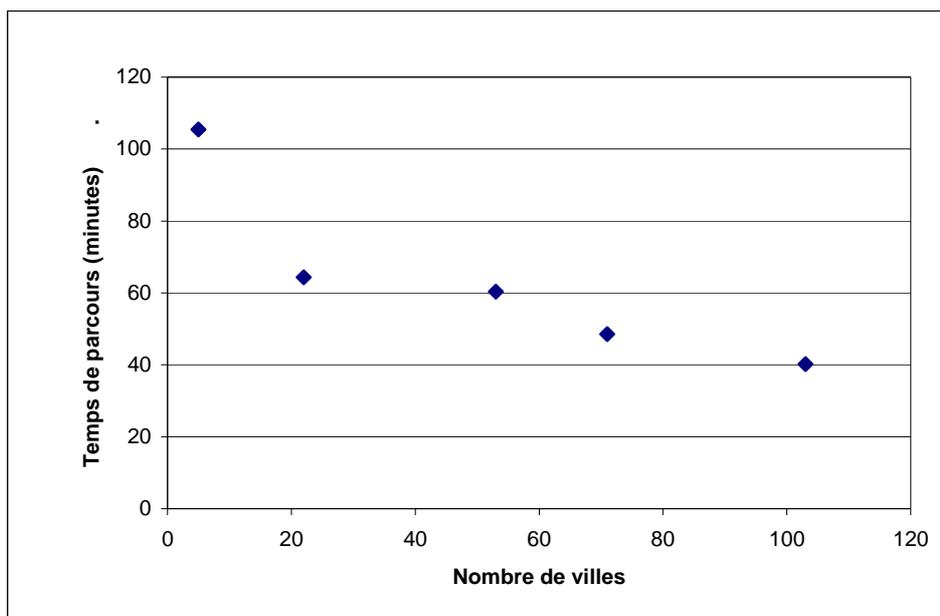


Figure 4 : Temps de parcours maximum en fonction du nombre de villes considérées dans le modèle

1.2.7. Analyse de l'accessibilité pour des heures de pointe

Notons tout d'abord que, pour ne pas bouleverser la structure du rapport et pour garder une certaine cohérence dans nos explications, la section relative à l'intégration de la congestion dans nos calculs de temps de parcours est abordée dans le point 4 de cette partie du rapport (part III, 4). Dans le cadre de cette analyse, nous nous limiterons juste à appliquer le **cas de figure (ii)** pour des heures de pointe et à comparer les résultats de temps de parcours avec ceux obtenus pour les heures creuses.

Lorsque l'accessibilité est analysée vers les villes de type H_1 et H_2 (voir Carte 10), le passage des heures creuses aux heures de pointe montre une réduction très forte de l'accessibilité pour certaines communes situées dans le sud du pays (notamment dans les régions de Vielsalm et de Vresse-sur-Semois). D'autres communes du nord du Limbourg, du sud de la Flandre Orientale, de l'ouest de la Flandre Occidentale, et du nord de la province d'Antwerpen sont également affectées par cette baisse d'accessibilité. Cette baisse est causée par la congestion routière, qui entraîne une augmentation du temps de trajet⁵² tout le long de l'itinéraire, et plus particulièrement à l'approche des principales villes.

En rajoutant progressivement les villes H_3 , H_4 et H_5 dans l'analyse (voir Cartes 11, 12 et 13), on constate une hausse graduelle de l'accessibilité par rapport aux villes : toutes les anciennes communes belges sont, en effet, situées à moins de 50 minutes des villes de type H_1 , H_2 , H_3 , H_4 ou H_5 . Comme pour les heures creuses, l'analyse de la dernière carte (Carte 13) montre que les régions les plus éloignées de toute ville et de tout service sont situées au sud de l'arrondissement de Dinant, ainsi que dans le triangle Anthisnes – La Roche-en-Ardenne – Vielsalm. D'autres communes – situées dans les arrondissements de Neufchâteau, Virton, Verviers, Thuin, et Antwerpen – ont également un temps de parcours de plus de 30 minutes (maximum 50 minutes) pour rejoindre la ville la plus proche. En particulier, on remarquera

⁵² De l'ordre de 10 à 20 minutes.

que même le nord de la commune d'Antwerpen est classé dans l'un des groupes les moins accessibles de Belgique pendant les heures de pointe. A cause de la congestion routière, le temps de parcours dans et autour du centre-ville d'Antwerpen augmente sensiblement et provoque ainsi une forte réduction de l'accessibilité des communes qui se trouvent en périphérie.

1.3. Critique des résultats

Les **avantages** de la démarche sont les suivants :

- i. La méthode tient compte de l'impédance induite par la traversée des régions urbaines (feux rouges, rond-points, passages pour piétons, ...). En outre, une simple modification de la valeur du coefficient α dans la fonction d'impédance permet de tenir compte de l'influence de la congestion dans les calculs de temps de trajet.
- ii. La méthode appliquée ici est plus cohérente (en termes de déplacements) que celle utilisée pour d'autres indicateurs (comme l'indice de Shimbél), étant donné qu'elle ne tient compte **que** de la composante majeure des déplacements (c'est-à-dire vers les villes).
- iii. La méthode calcule non seulement les distances kilométriques, mais aussi le temps de trajet entre deux lieux. Certains arcs plus rapides comme les autoroutes permettent de diminuer l'éloignement (distance temporelle) entre deux lieux.
- iv. L'extension Network Analyst effectue les calculs le long du réseau routier, ce qui est plus réaliste que les simples calculs basés sur des distances euclidiennes (ou distances calculées à vol d'oiseau).
- v. Les résultats mettent très bien en évidence la périphérialité de certains lieux.
- vi. L'échelle d'analyse est relativement fine (anciennes communes), ce qui limite la perte d'informations.
- vii. La méthode utilisée ici est, bien sûr, applicable pour d'autres aires d'études que la Belgique, d'autres destinations que les villes, d'autres échelles d'analyse, ou encore d'autres modes de transport que la voiture. Les possibilités d'application sont donc très nombreuses.

Les **critiques** du modèle sont les suivantes :

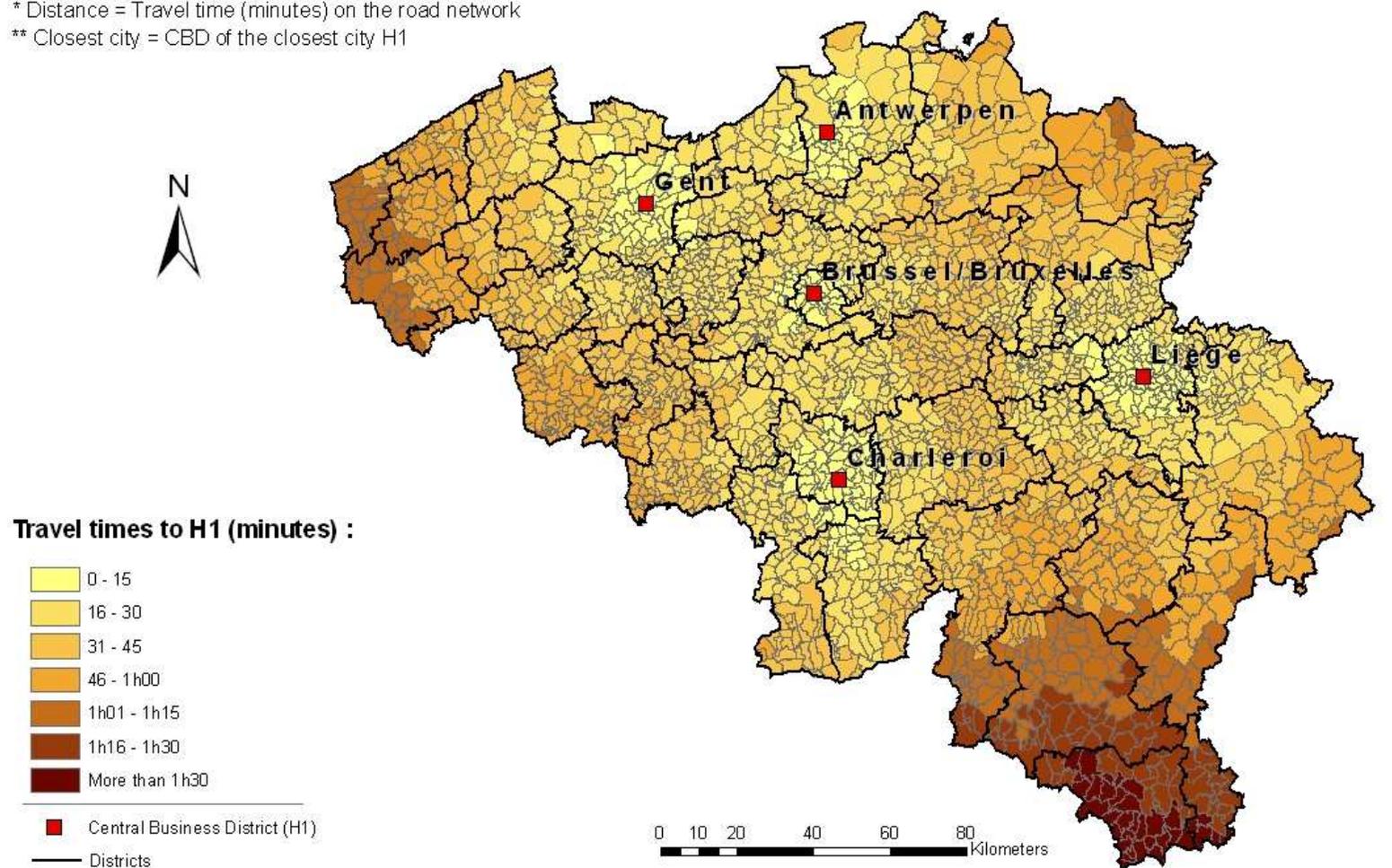
- i. Comme dans la plupart des analyses spatiales, la méthode utilisée ici est confrontée au problème d'agrégation des données et ne considère qu'un seul point (centroïde des secteurs administratifs) par ancienne commune. Même si ce point est très représentatif de l'ensemble de l'ancienne commune, il faudrait idéalement prendre plusieurs points dans chaque ancienne commune pour corriger la valeur de l'accessibilité. La raison pour laquelle nous n'avons pas utilisé un plus grand nombre de points par commune est essentiellement d'ordre technique. En effet, la combinaison d'une banque de données routières très précise et d'un trop grand nombre de points (O-D) augmente sensiblement le temps de traitement.
- ii. Les vitesses des différents arcs routiers sont « théoriques » : il s'agit des vitesses maximales autorisées pour chaque catégorie de route.
- iii. Le fait que le flux soit totalement affecté à un seul et même itinéraire (le plus rapide entre i et j) n'est pas représentatif de la réalité. En effet, pour les heures de pointe, l'itinéraire considéré peut très bien être saturé, poussant ainsi d'autres personnes à emprunter des itinéraires alternatifs (et qui s'avèrent finalement plus rapides en période de congestion).

- iv. Les sens de circulation ne sont pas pris en compte dans le modèle. Néanmoins, lorsqu'on ne considère que les heures creuses, la différence de temps de parcours n'est généralement pas très éloignée de la réalité. Par contre, durant les heures de pointe, l'état de congestion peut varier très fort d'un sens de circulation à l'autre (par exemple, *de* ou *vers* Bruxelles).
- v. A la demande du comité d'accompagnement, la Belgique est considérée ici comme un milieu fermé et il n'est pas tenu compte des villes étrangères, proches de la frontière belge. En effet, certaines anciennes communes paraissent peu accessibles alors que des villes étrangères bien équipées – telles que Maastricht, Lille, ou Aachen – se trouvent à proximité de la frontière et peuvent figurer comme l'une des destinations possibles pour y accomplir certaines activités (commerces, activités sportives ou de loisir, ...).

Distance* to the closest city** (H1)

* Distance = Travel time (minutes) on the road network

** Closest city = CBD of the closest city H1



Classification method : Approximation of Natural Breaks

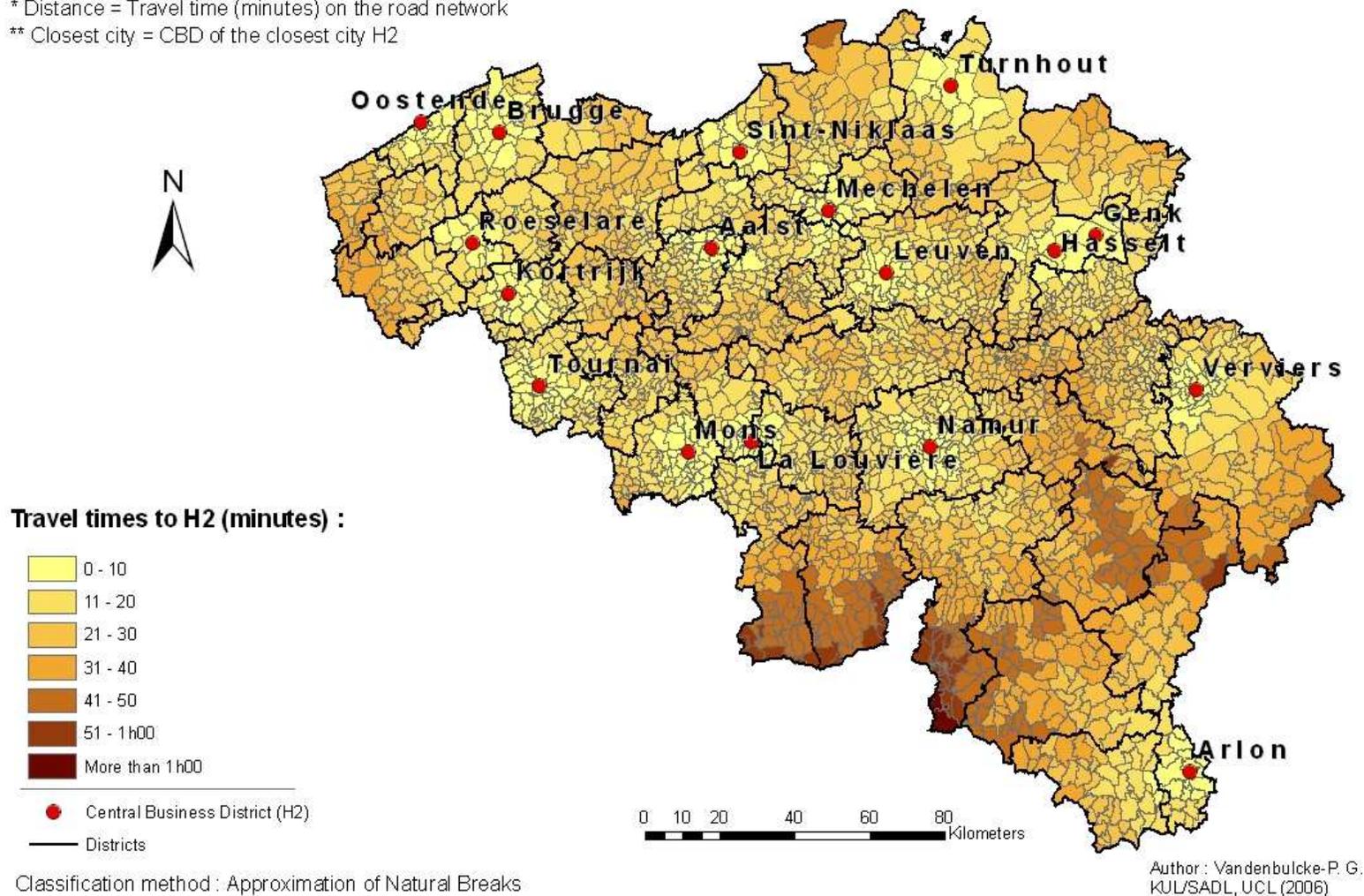
Author : Vandembulcke-P. G.
KUL/SADL, UCL (2006)

Carte 1 : Temps de parcours à la ville la plus proche (de niveau H₁)

Distance* to the closest city** (H2)

* Distance = Travel time (minutes) on the road network

** Closest city = CBD of the closest city H2

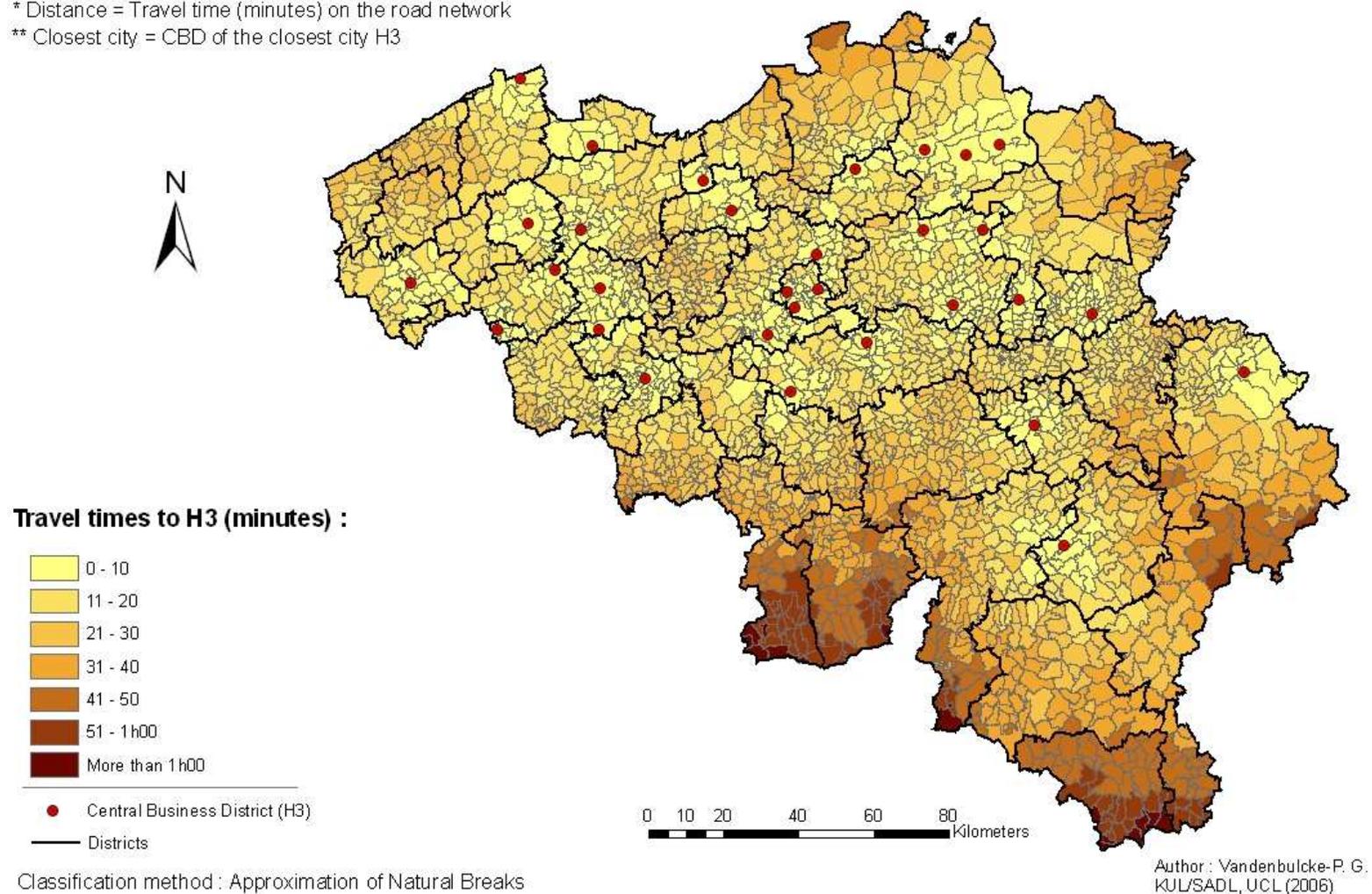


Carte 2 : Temps de parcours à la ville la plus proche (de niveau H₂)

Distance* to the closest city** (H3)

* Distance = Travel time (minutes) on the road network

** Closest city = CBD of the closest city H3

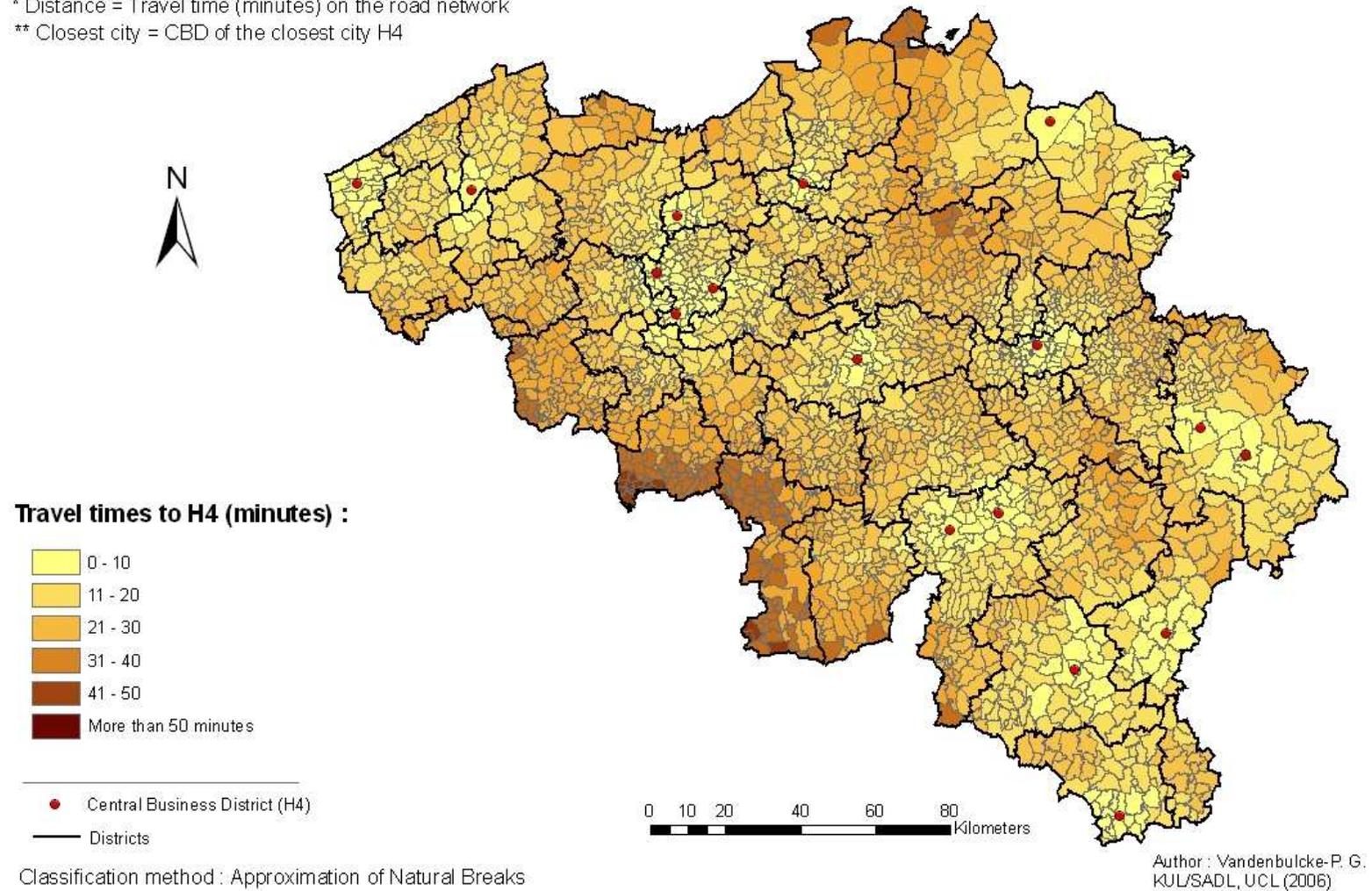


Carte 3 : Temps de parcours à la ville la plus proche (de niveau H₃)

Distance* to the closest city** (H4)

* Distance = Travel time (minutes) on the road network

** Closest city = CBD of the closest city H4

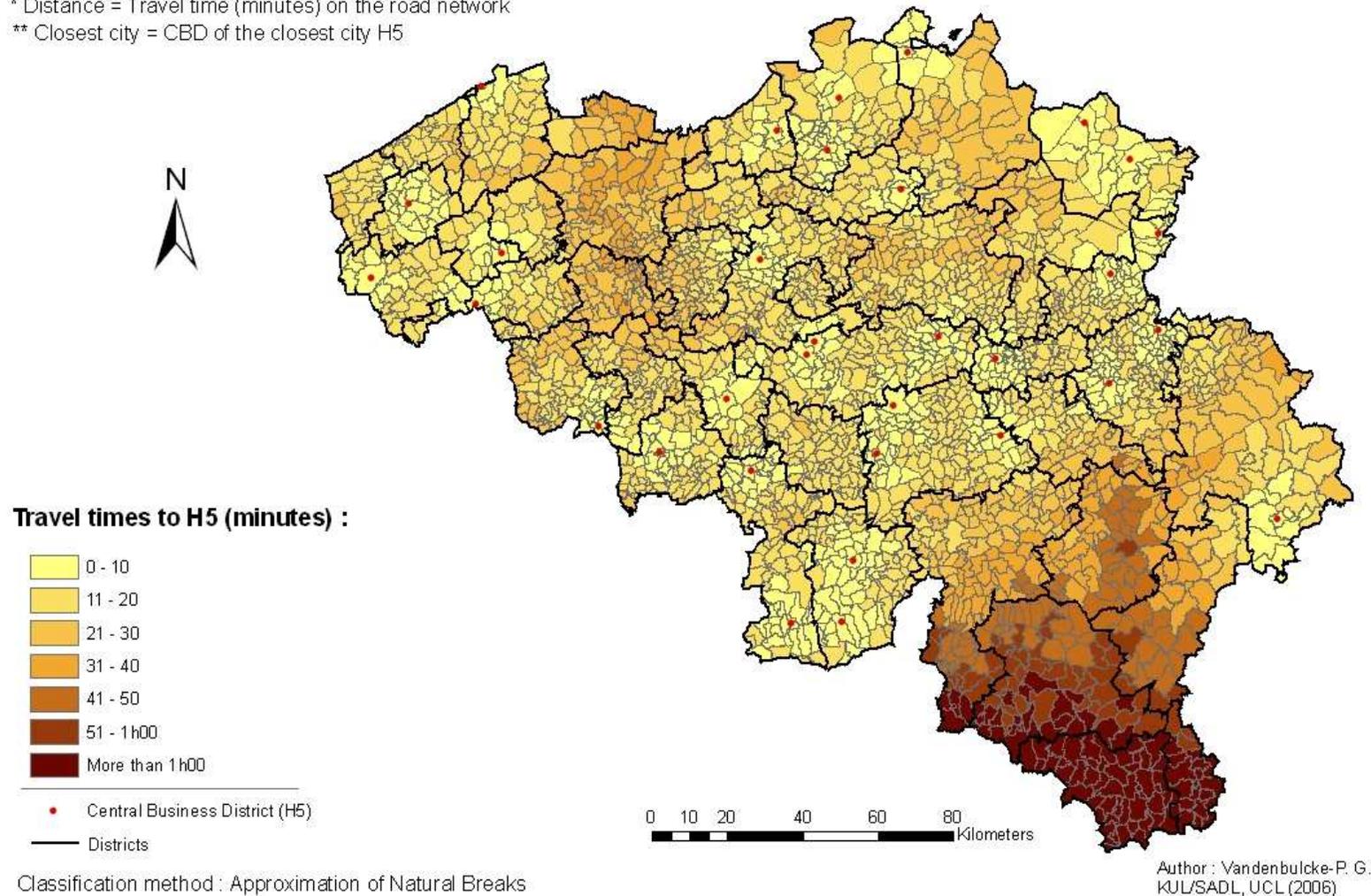


Carte 4 : Temps de parcours à la ville la plus proche (de niveau H₄)

Distance* to the closest city** (H5)

* Distance = Travel time (minutes) on the road network

** Closest city = CBD of the closest city H5

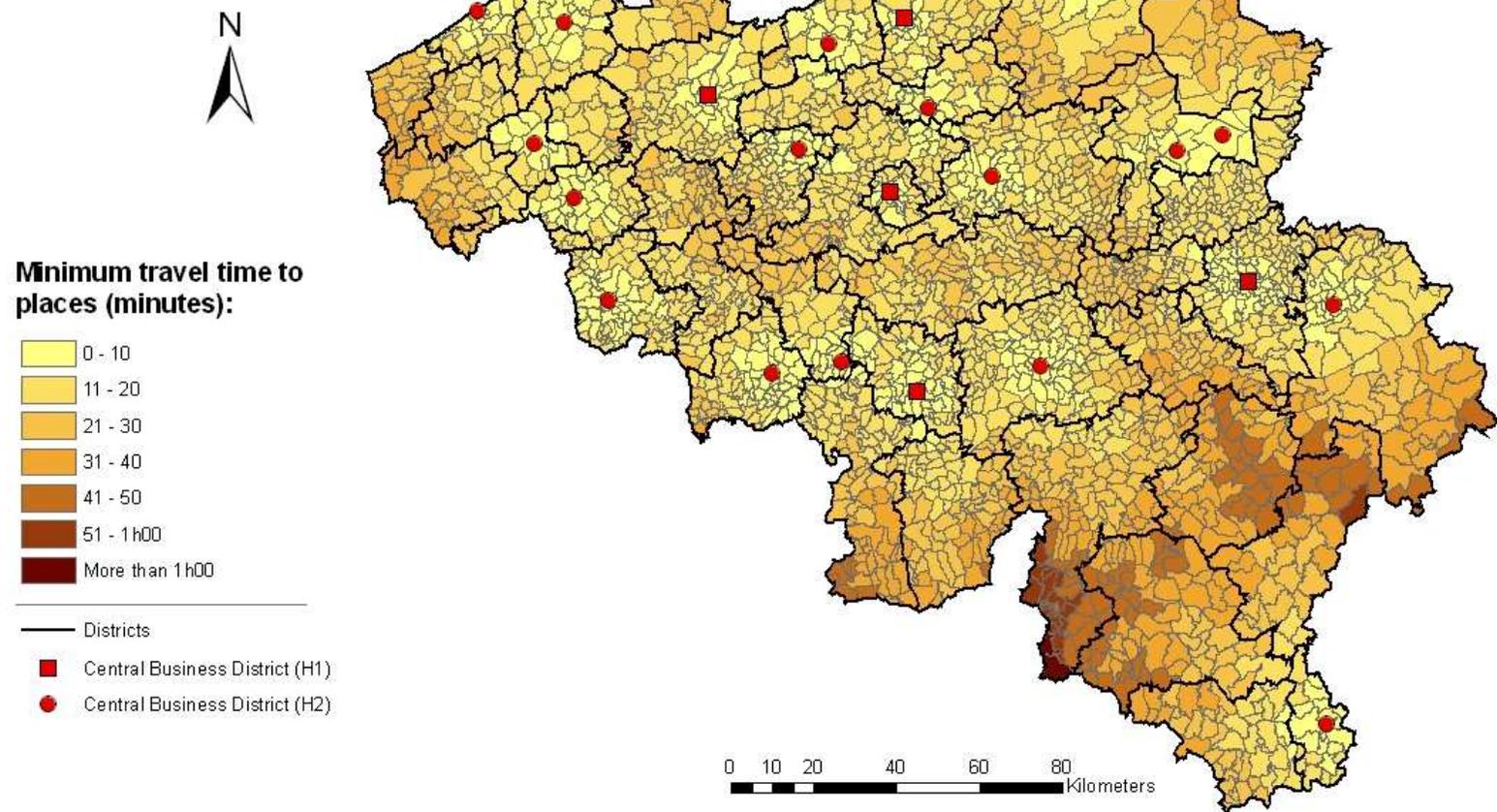


Carte 5 : Temps de parcours à la ville la plus proche (de niveau H₅)

Distance* to the closest city** during off-peak hours

* Distance = Travel time (minutes) on the road network

** Closest city = Central Business District of the closest city (H1, H2)



Classification method : Approximation of Natural Breaks

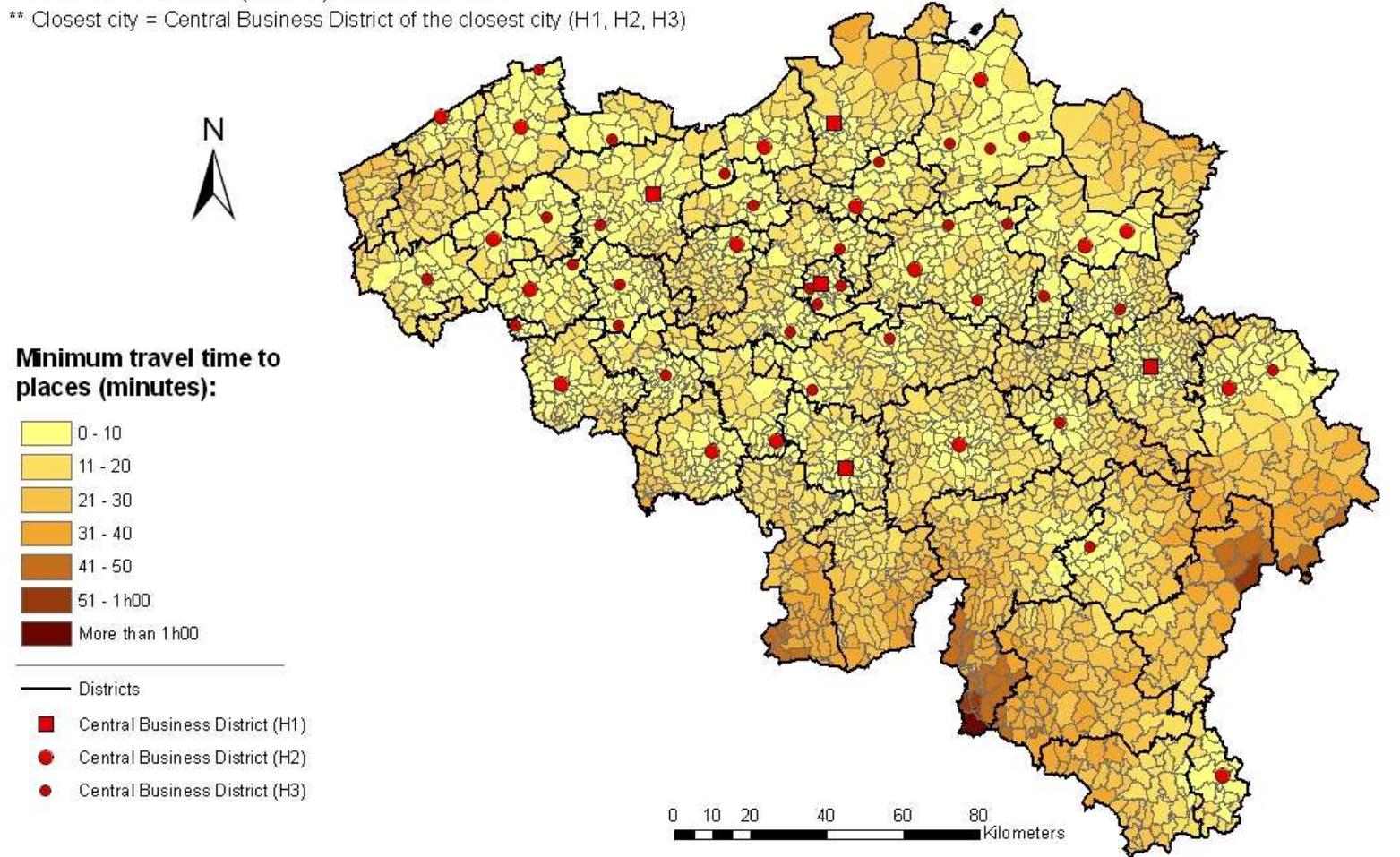
Author : Vandebulcke-P. G.
KUL/SADL, UCL (2006)

Carte 6 : Temps de parcours à la ville la plus proche, pendant les heures creuses (H₁, H₂)

Distance* to the closest city** during off-peak hours

* Distance = Travel time (minutes) on the road network

** Closest city = Central Business District of the closest city (H1, H2, H3)



Classification method : Approximation of Natural Breaks

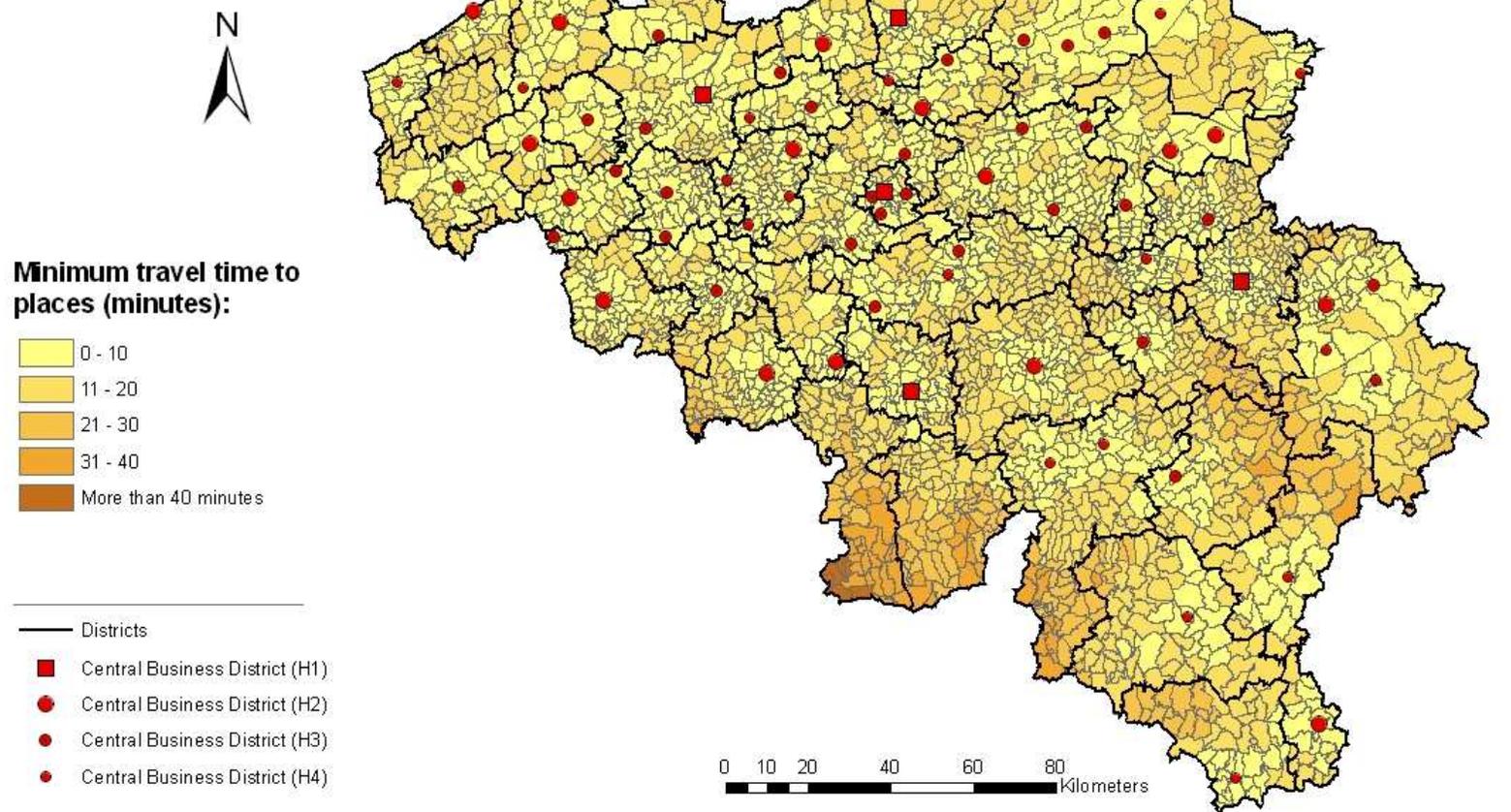
Author : Vandebulcke-P. G.
KUL/SADL, UCL (2006)

Carte 7 : Temps de parcours à la ville la plus proche, pendant les heures creuses (H₁, H₂, H₃)

Distance* to the closest city** during off-peak hours

* Distance = Travel time (minutes) on the road network

** Closest city = Central Business District of the closest city (H1, H2, H3, H4)



Classification method : Approximation of Natural Breaks

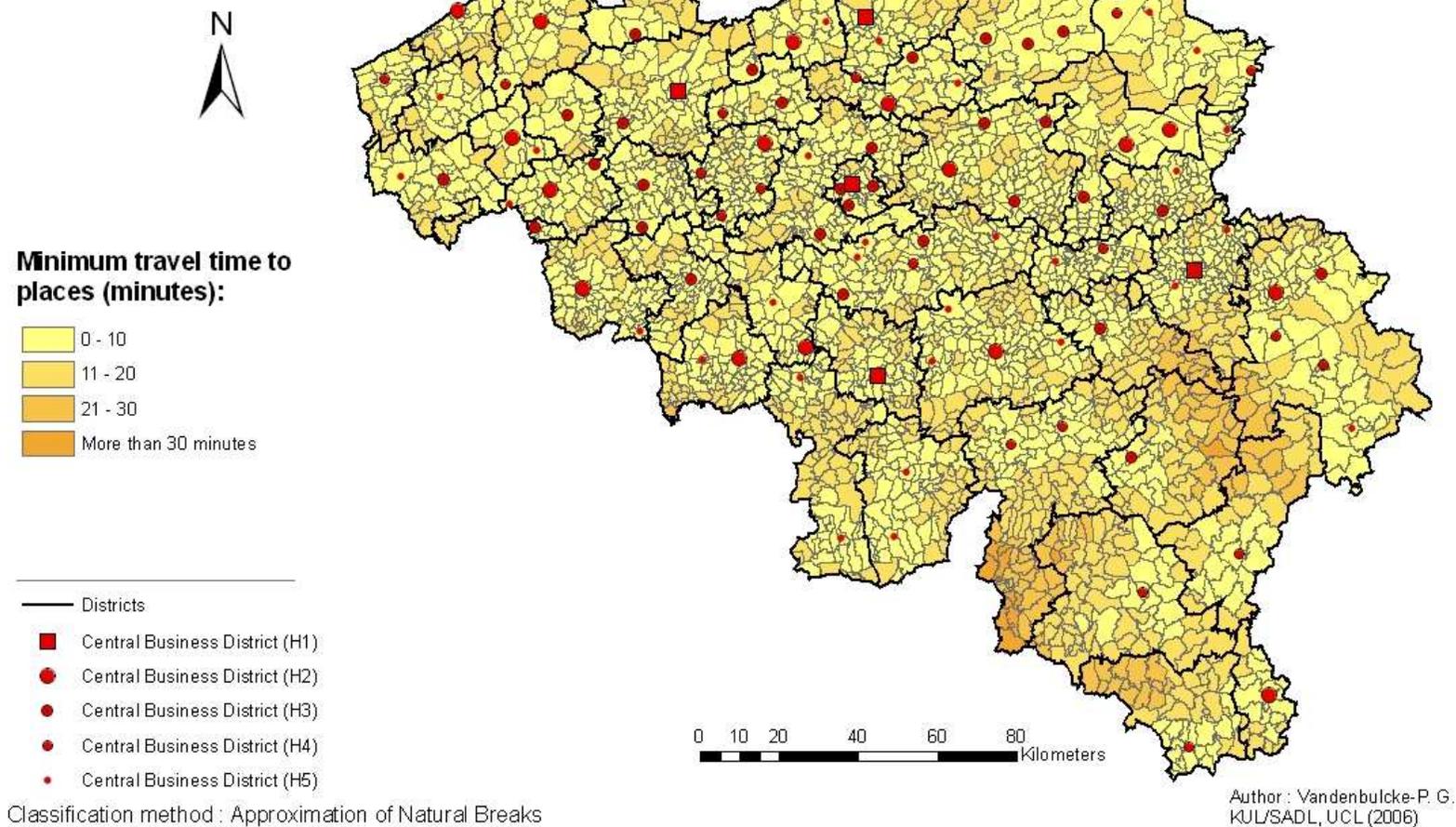
Author : Vandenbulcke-P. G.
KUL/SADL, UCL (2006)

Carte 8 : Temps de parcours à la ville la plus proche, pendant les heures creuses (H₁, H₂, H₃, H₄)

Distance* to the closest city** during off-peak hours

* Distance = Travel time (minutes) on the road network

** Closest city = Central Business District of the closest city (H1, H2, H3, H4, H5)

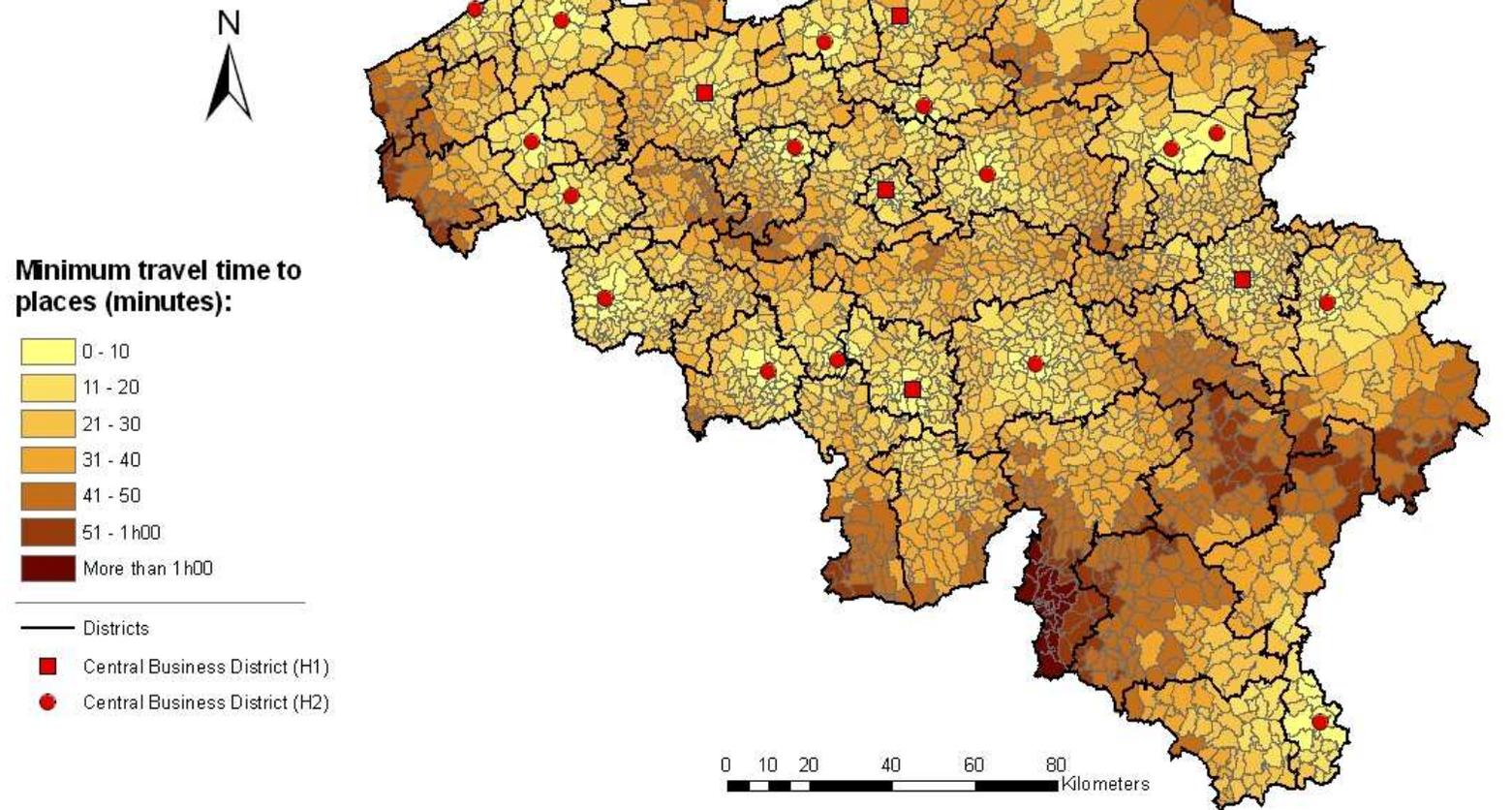


Carte 9 : Temps de parcours à la ville la plus proche, pendant les heures creuses (H₁, H₂, H₃, H₄, H₅)

Distance* to the closest city** during peak hours

* Distance = Travel time (minutes) on the road network

** Closest city = Central Business District of the closest city (H1, H2)



Classification method : Approximation of Natural Breaks

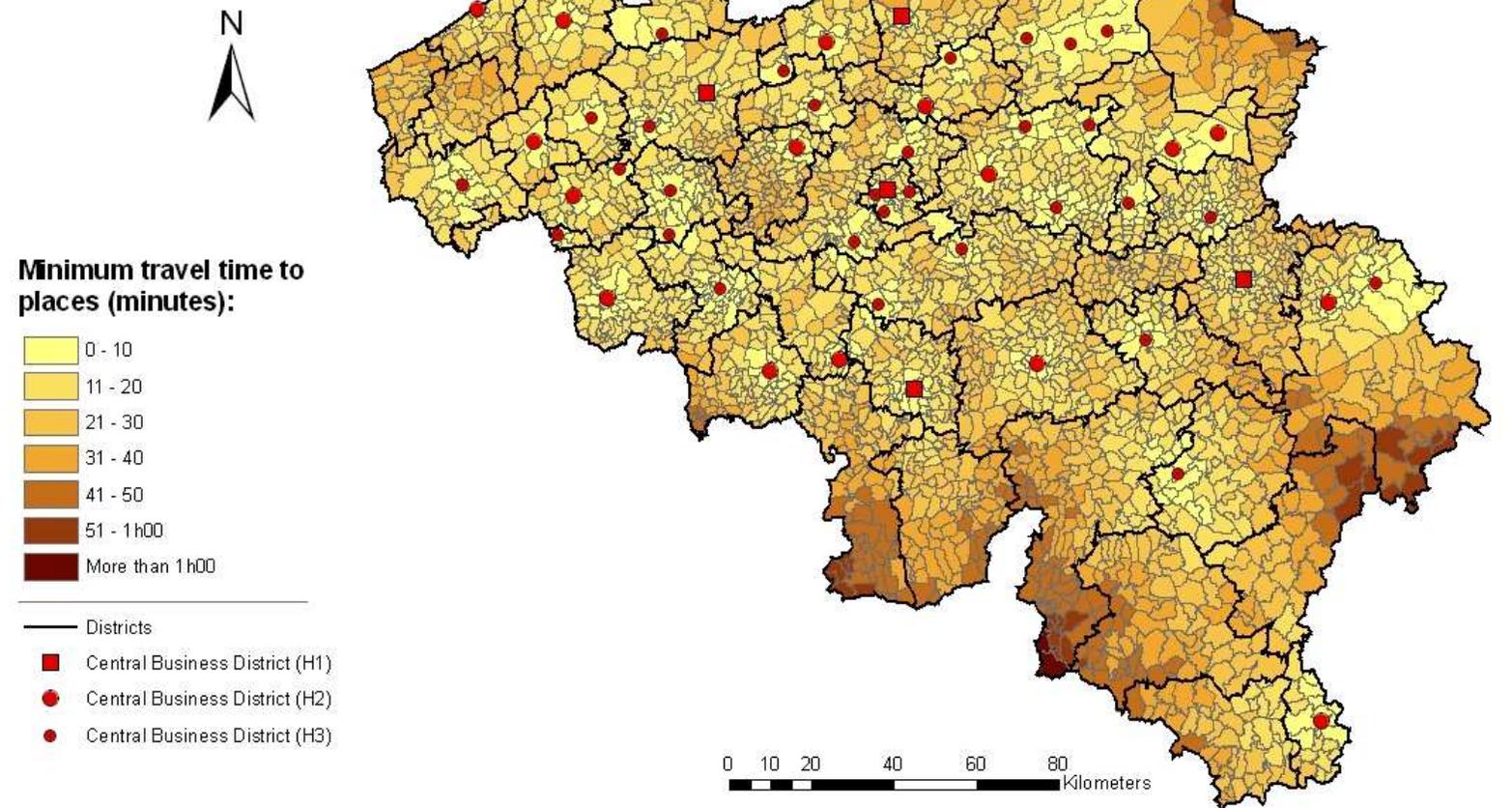
Author : Vandebulcke-P. G.
KUL/SADL, UCL (2006)

Carte 10 : Temps de parcours à la ville la plus proche, pendant les heures de pointe (H₁, H₂)

Distance* to the closest city** during peak hours

* Distance = Travel time (minutes) on the road network

** Closest city = Central Business District of the closest city (H1, H2, H3)



Classification method : Approximation of Natural Breaks

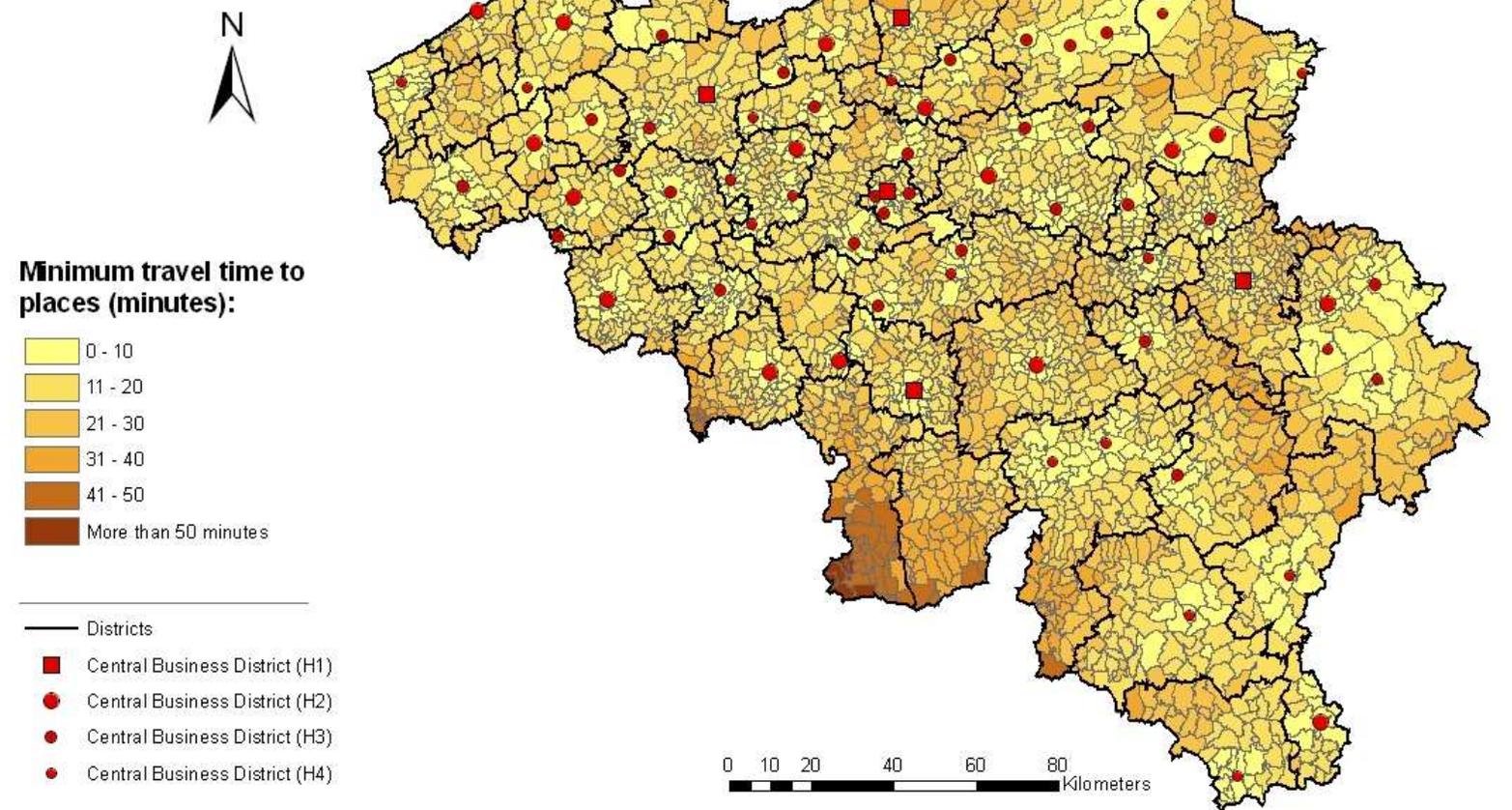
Author : Vandenbulcke-P. G.
KUL/SADL, UCL (2006)

Carte 11 : Temps de parcours à la ville la plus proche, pendant les heures de pointe (H₁, H₂, H₃)

Distance* to the closest city** during peak hours

* Distance = Travel time (minutes) on the road network

** Closest city = Central Business District of the closest city (H1, H2, H3, H4)



Classification method : Approximation of Natural Breaks

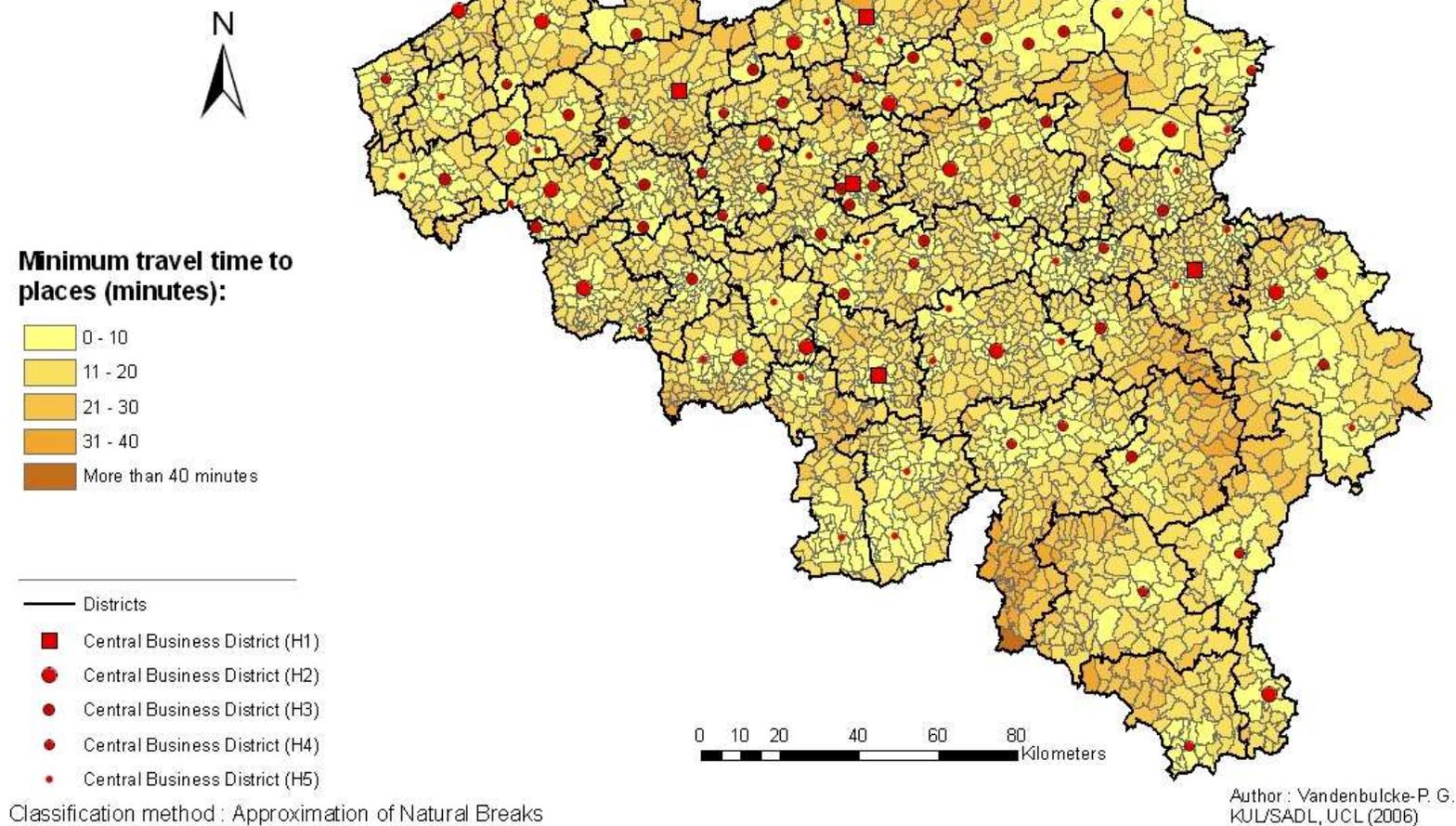
Author : Vandebulcke-P. G.
KUL/SADL, UCL (2006)

Carte 12 : Temps de parcours à la ville la plus proche, pendant les heures de pointe (H₁, H₂, H₃, H₄)

Distance* to the closest city** during peak hours

* Distance = Travel time (minutes) on the road network

** Closest city = Central Business District of the closest city (H1, H2, H3, H4, H5)



Carte 13 : Temps de parcours à la ville la plus proche, pendant les heures de pointe (H₁, H₂, H₃, H₄, H₅)

2. Accessibilité potentielle aux emplois et à la population

2.1. Données utilisées

Les différentes données **utilisées** dans cette analyse sont les suivantes :

- Banque de données routières disponibles à l'UCL et à la KUL (627.856 arcs)
- Banque de données sur la population et l'emploi par commune (01/10/2001). Source : INS (voir <http://statbel.fgov.be/>)
- Supports cartographiques du réseau routier et des différentes limites administratives du territoire belge (arrondissements, communes, anciennes communes, secteurs statistiques). Source : IGN.

2.2. Méthodologie et différentes étapes du travail

Avant d'aborder la méthodologie, il convient à nouveau de donner les informations suivantes:

- **Aire d'étude** : Belgique
- **Echelle d'analyse** : INS 6 (anciennes communes, datant d'avant la fusion de 1977)
- Situation en **heures creuses** (21h00-5h00)
- **Logiciel informatique** utilisé : ArcGIS 9.1 (extension : Network Analyst)

2.2.1. Méthodologie

Le but est ici de construire une mesure de l'accessibilité potentielle à la population et aux emplois. En d'autres termes, on veut calculer l'attraction, ou plutôt le potentiel de marché d'une commune i , c'est-à-dire le nombre d'habitants (ou d'emplois) qui peuvent « **potentiellement** » y accéder. « Potentiellement » parce que tous les individus ne trouveront pas nécessairement un intérêt de se déplacer vers la commune i , surtout si celle-ci dispose de peu de services.

Afin de calculer l'accessibilité potentielle de chaque commune i , nous utilisons à nouveau le même type de réseau routier que celui utilisé dans le point 2, ainsi que les mêmes origines et destinations (centroïdes des secteurs statistiques administratifs, c'est-à-dire A00 ou A000). Le réseau est hiérarchisé en fonction de différentes vitesses, et les temps de parcours résultants ont été corrigés à l'aide de la fonction d'impédance définie dans le point 2 (notamment pour tenir compte de la traversée des régions urbaines).

Dans le but d'obtenir une mesure correcte de l'accessibilité potentielle, nous avons ensuite construit une matrice reprenant le temps de parcours entre chacun des 2616 centroïdes considérés (ce qui équivaut environ à 6,8 millions de couples OD). A partir de chacun des temps de parcours t_{ij} modélisés, il nous est alors possible de :

- calculer un indice de Shimbel, qui a été classé parmi les « **complex distance measures** » dans la partie théorique de la littérature
- calculer l'accessibilité potentielle à la population et aux emplois, qui a été catégorisée comme une **mesure potentielle** de l'accessibilité (« gravity-based measures »)

2.2.2. Calcul d'un indice de Shimbel

En effectuant la somme des temps de parcours t_{ij} entre une ancienne commune i (origine) et toutes les autres anciennes communes j (destinations), on obtient ainsi un **indice de Shimbel** pour chaque ancienne commune i . Formellement, le calcul se fait de la manière suivante (pour plus de détails sur la formulation, voir partie I du rapport) :

$$A_i = \sum_{j=1}^n t_{ij}$$

En appliquant cette formule aux résultats, on obtient une mesure brute de l'accessibilité pour chaque ancienne commune i (voir Carte 14). La cartographie de l'indice de Shimbel montre que les communes les plus périphériques ont été mises en évidence par rapport aux communes les plus accessibles. Ainsi, sous forme cartographique, ce sont les régions frontalières qui ressortent comme étant les plus périphériques en Belgique. En particulier, on remarquera que c'est surtout le cas pour le nord de la province d'Antwerpen, la Flandre Occidentale, le nord de la province du Limbourg, l'est de la province de Liège, et le sud de la province du Luxembourg⁵³. Et inversement : les régions les plus accessibles sont les provinces du Brabant Wallon et du Brabant Flamand, ainsi que la Région de Bruxelles-Capitale⁵⁴.

L'intérêt d'utiliser un indice de Shimbel dans le cadre de cette étude est faible. En effet, les résultats ne sont guère surprenants puisque les communes les moins accessibles sont généralement celles situées dans les régions frontalières. En outre, la méthode utilisée ici a l'inconvénient de considérer *tous* les déplacements entre une commune i et toutes les autres communes j (soit 2616 destinations), ce qui suppose que la probabilité de se déplacer vers j (destination) est équivalente, quelle que soit la distance ou le temps de parcours. Or, une personne vivant dans une commune ardennaise i se déplacera plus fréquemment vers la ville voisine que vers la Côte belge (par exemple). Il ne faudrait donc envisager que la composante majeure des déplacements, et donc un nombre limité de destinations en fonction de l'origine considérée. C'est notamment ce que nous ferons lorsque nous procéderons à l'analyse de l'accessibilité aux gares et aux aéroports belges. C'est aussi ce que nous avons fait dans le cadre du point 2 (Accessibilité aux villes et aux services).

2.2.3. Calcul de l'accessibilité potentielle à la population et aux emplois

En rapport avec ce qui a été vu dans la partie plus théorique de ce rapport (cf. *Literature review*), nous avons également pu obtenir une mesure de l'accessibilité potentielle aux emplois et à la population. Pour ce faire, nous avons repris la matrice OD (2616 * 2616), afin de disposer de la distance temporelle (ou temps de trajet t_{ij}) entre chaque origine (i) et chaque destination (j).

Soit une commune-destination j et un ensemble de communes-origines i . En fonction du temps de trajet calculé entre i et j , nous avons alors attribué une certaine probabilité que les personnes habitant dans la commune i fassent le déplacement vers la commune j considérée. Cette **probabilité de déplacement** est, bien sûr, de plus en plus grande lorsque le temps de

⁵³ Torgny (commune de Rouvroy) étant la commune la moins accessible de Belgique pendant les heures creuses. En heure de pointe, la palme revient à De Moeren (commune de Veurne).

⁵⁴ Tervuren étant l'ancienne commune la plus accessible de Belgique. En heure de pointe, la palme revient à Thorembais-Saint-Trond (commune de Perwez).

trajet est faible, et inversement. Notons que cette même probabilité a pu être obtenue à partir de données sur la distribution cumulée de déplacements en voiture (exprimée en %) en fonction de la distance kilométrique (source : Enquête nationale sur la mobilité des ménages, 2001). Nous avons alors « renversé » cette distribution en faisant la différence entre la probabilité maximum (100) et chaque valeur cumulée de la distribution (notées x). De cette manière, nous obtenons une courbe de la probabilité de faire le déplacement (en voiture) en fonction de la distance kilométrique (« distance decay »). Afin d'interpréter cette courbe de la manière la plus correcte possible, nous supposons que :

- Une personne se déplaçant à une distance de 40 kilomètres est également **capable** de parcourir une distance de 250 mètres. Il faut donc lire la courbe de la droite vers la gauche, et faire un cumul des pourcentages de déplacements au fur et à mesure qu'on se rapproche de la destination j (situé à la distance $d = 0$ km). Il ne s'agit donc pas de considérer qu'une personne proche de la destination prenne le vélo ou se déplace à pied pour la rejoindre. Nous effectuons l'analyse dans une optique de potentialité, c'est-à-dire que nous souhaitons voir quel est le marché potentiel d'une ville (ou d'une petite commune) sur base de l'utilisation de la voiture comme principal mode de déplacement ; en d'autres termes, nous voulons voir quel est le nombre maximum de personnes que la voiture pourrait amener à la destination j considérée (le terme « maximum » suppose donc de négliger l'effet de concurrence des autres modes sur des courtes distances).
- Pour une distance d considérée (mesurée à partir d'une destination j), x % de déplacements vers la destination j ne peuvent plus être accomplis à cause de la distance trop élevée, et $100 - x$ % trajets *peuvent* encore avoir lieu (« peuvent » car il s'agit bien de déplacements **potentiels**). Par exemple, si on choisit une commune située à une distance $d = 40$ km de la destination, la valeur cumulée x est égale à 92,9 % (source : MOBEL). Dès lors, on suppose que seulement 7,1 % des personnes vivant à une distance $d = 40$ km feront le déplacement pour rejoindre la destination j . Etant donné que nous savons (toujours par MOBEL) que la valeur cumulée des déplacements est égale à 87,7 % pour une distance de 25 km, alors on peut encore supposer que 12,3 % de déplacements **potentiels** sont faits pour une distance $d = 25$ km.
- La probabilité de se déplacer est la même pour tout individu (c'est-à-dire qu'on exclut un quelconque handicap).
- Chaque personne se déplace et dispose d'une voiture, ce qui n'est pas toujours le cas dans la réalité.

Etant donné que la distribution cumulée n'avait pas été construite en fonction de la distance temporelle, il nous a alors fallu **faire correspondre une échelle de temps à celle des kilomètres**. Très simplement, un moyen d'effectuer cette correspondance est d'utiliser la vitesse moyenne v (relevée sur le réseau routier belge), et d'ensuite appliquer la formule suivante : $t_{ij} = d_{ij}/v$. Dans la littérature, on trouve généralement une vitesse moyenne variant de 30 à 35 km/h ; dans le cadre de notre étude, nous avons pris une moyenne des vitesses de déplacement qui est de l'ordre de 32,5 km/h (SSTC, 2001)⁵⁵. Enfin, à partir du changement d'échelle, nous avons retracé un nouveau système d'axes (avec, comme abscisse, le temps de trajet) et nous avons ensuite reporté la courbe de probabilité de se déplacer, tirée de l'enquête MOBEL. Néanmoins, cette même courbe ne nous donnait pas assez d'informations pour générer une probabilité propre à chaque commune i , qui, elle-même, est située à une distance

⁵⁵ Si on exclut Bruxelles de la moyenne (23,7 km/h), les vitesses varient de 30,3 km/h pour la Flandre à 34,8 km/h pour la Wallonie (Source : SSTC, 2001).

temporelle t_{ij} bien déterminée de j . C'est pourquoi nous avons dû construire une nouvelle courbe de probabilité $P_{modélisé}$ (également exprimée en pourcentages), calibrée sur celle tirée de l'enquête MOBEL. Formellement, la nouvelle courbe est donc caractérisée par la fonction suivante :

$$\begin{aligned}
 P_{modélisé} &= 100.e^{-\lambda.d_{ij}} + d_{ij}.e^{-\varepsilon.d_{ij}} \\
 &= 100.e^{-\lambda.t_{ij}.v} + t_{ij}.v.e^{-\varepsilon.t_{ij}.v}
 \end{aligned}$$

Où d_{ij} : distance entre i et j
 t_{ij} : temps de parcours entre i et j
 v : vitesse moyenne sur le réseau routier belge (ici : 32,5 km/h)
 λ, ε : coefficients à calibrer/ajuster (ici : 0,16 pour λ et 0,0417 pour ε)

La nouvelle courbe ajustée à celle de l'enquête MOBEL est illustrée dans la figure 5. Notons à ce sujet que le coefficient de corrélation de Pearson entre les deux courbes de 0,998. L'interprétation de la courbe modélisée est la suivante : pour toute commune située à un temps de trajet t_{ij} de la destination j , il existe une certaine probabilité (représentée par la valeur $P_{modélisé}$) que ses habitants se déplacent vers cette même destination. En d'autres termes, en fonction du temps de trajet entre i et j , seule une certaine proportion de la population se déplacera, cette même proportion diminuant lorsque le temps de trajet augmente. Par exemple, si nous considérons une commune i située à une distance-temps équivalente à 10 minutes par rapport à Bruxelles (j), le graphique montre alors que 50 % de la population fera le déplacement vers j . Par contre, une commune i se trouvant à 50 minutes de Bruxelles aura seulement 10 % de sa population qui fera le déplacement vers la capitale.

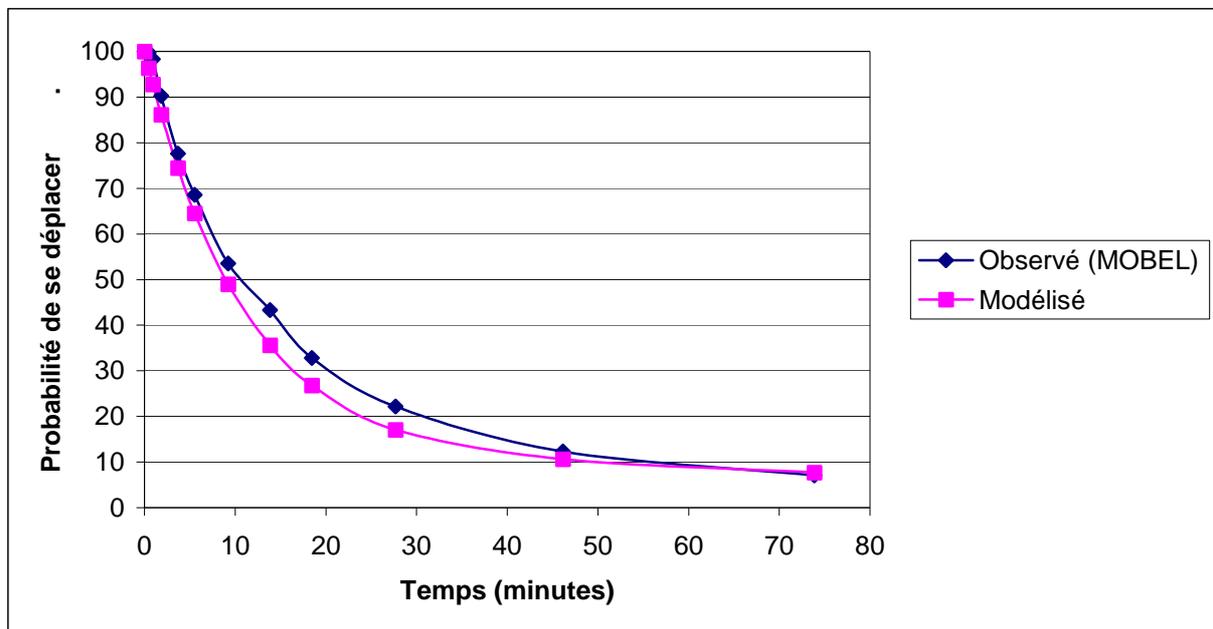


Figure 5 : Ajustement d'une nouvelle courbe de probabilité de se déplacer sur les observations de l'enquête MOBEL

Maintenant que nous avons construit la courbe théorique, nous pouvons générer une valeur de probabilité pour chaque commune qui se trouve à un temps t_{ij} d'une autre commune belge. Ensuite, pour une destination fixée (par exemple, la commune de Bruxelles), nous multiplions

la population d'une commune-origine (c'est-à-dire l'une des 2615 anciennes communes, autres que la destination) par la probabilité $P_{modélisé}$ qui lui a été affectée. Nous obtenons alors pour chaque commune-origine un chiffre égal ou inférieur à la population totale, indiquant ainsi le nombre d'habitants qui sont prêts à se déplacer pour rejoindre la destination fixée (Bruxelles). Ainsi, pour une commune de 5.000 habitants située à 180 minutes de sa destination, $P_{modélisé} = 1,68 \%$ et, par conséquent, seuls 84 habitants (sur 5.000) sont tentés de faire le déplacement.

Enfin, il reste à faire la somme sur toutes les communes-origines de la population prête à se déplacer vers la destination j . Au final, on obtient donc la population qui, potentiellement, pourrait faire le trajet pour rallier la commune-destination. Formellement, on écrit cela de la manière suivante :

$$A_i = \sum_{j=1}^n D_j \cdot F(c_{ij})$$

Où A_i est l'accessibilité potentielle, D_j est le nombre d'habitants (ou d'emplois) de l'ancienne commune j , et $F(c_{ij})$ est la fonction d'impédance. Dans le cadre de la mesure de l'accessibilité potentielle, nous pouvons écrire que $F(c_{ij})$ est égal à la fonction $P_{modélisé}$ que nous avons construite ci-dessus. Comme $F(c_{ij})$ reflète l'impédance liée à la distance, $P_{modélisé}$ reproduit l'effet de l'éloignement (distance temporelle) entre deux lieux i et j au travers d'une probabilité de se déplacer vers une destination j . Ainsi, comme nous l'avons dit ci-dessus, cette probabilité diminue pour des distances croissantes et, donc, le nombre de personnes susceptibles de se déplacer d'un lieu i à un lieu j sera d'autant plus faible que la distance-temps est grande entre ces deux lieux.

Etant donné que la fonction $P_{modélisé}$ s'exprime en pourcentages, nous devons également ramener cette dernière sous forme numérique en la divisant par 100. Ainsi, nous obtenons une variable continue qui prend des valeurs exclusivement comprises entre 0 et 1. Nous pouvons donc réécrire que :

$$\begin{aligned} A_i &= \sum_{j=1}^n D_j \cdot F(c_{ij}) \\ &= \sum_{j=1}^n D_j \cdot \frac{P_{modélisé}}{100} \\ &= \sum_{j=1}^n D_j \cdot \frac{\left(100 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{ij} \cdot v} + t_{ij} \cdot v \cdot e^{-\varepsilon \cdot t_{ij} \cdot v}\right)}{100} \end{aligned}$$

En conclusion, on obtient que :

$$A_i = \sum_{j=1}^n D_j \cdot \left(e^{-\lambda \cdot t_{ij} \cdot v} + \frac{t_{ij} \cdot v \cdot e^{-\varepsilon \cdot t_{ij} \cdot v}}{100} \right)$$

Où λ et ε sont des coefficients devant être calibrés. Ici, ils valent tous deux 0,16 et 0,04 respectivement.

Sur base de la formule reprise ci-dessus, nous avons finalement pu obtenir des résultats d'accessibilité potentielle aux emplois et à la population pour chacune des anciennes communes. Les résultats ont finalement été cartographiés selon différentes méthodes de

classification (« Natural Breaks », « Standard Deviation », et « Equal Interval ») (voir Cartes 15 à 20), notamment parce qu'elles se complètent au niveau de l'information apportée au lecteur.

2.2.4. Analyse des cartes d'accessibilité potentielle à la population et aux emplois

Au préalable, rappelons que les cartes de mesure de l'accessibilité potentielle ne se rapportent qu'aux déplacements **en voiture** (c'est-à-dire le mode avec lequel la plupart des déplacements sont effectués). En effet, la forme de la courbe construite ci-dessus se rapporte exclusivement à la voiture, chaque mode de transport ayant sa propre courbe.

Le premier type de carte lié à l'accessibilité potentielle répond plus au besoin pratique de procéder à une application de la mesure qu'à la nécessité d'analyser des résultats au niveau des emplois (voir Cartes 15 à 17). Ce premier type de carte correspond en fait à une mesure de l'**accessibilité potentielle aux emplois**, moyennant l'utilisation de la voiture comme mode de déplacement. Concrètement, la carte montre – via la mesure de l'accessibilité potentielle – le degré d'interaction qu'il pourrait y avoir entre les différentes personnes de la population active belge, mais aussi entre les entreprises (et leurs services) et la population des communes. En d'autres termes, elle montre les communes où les échanges (inter-entreprises, ou entre la population et les services offerts par les entreprises) peuvent être maximaux, et celles où ils sont moindres. Néanmoins, ce genre d'interprétation peut être critiquable, notamment par le fait que le développement des **télécommunications** (Internet, ...) pourrait diminuer la nécessité d'avoir un contact direct entre la clientèle et le service.

Plus exactement, l'analyse faite ici montre donc les différentes potentialités d'échanges intra- ou inter-sectoriels en Belgique. On remarque donc sur les cartes d'accessibilité que des villes comme Bruxelles ou Antwerpen sont celles où cette potentialité est la plus élevée (voir Cartes 15 à 17). En effet, plus de 300.000 emplois bénéficient d'une très bonne accessibilité vers ces deux grandes villes du pays. Quelle que soit la méthode de classification utilisée, on remarque aussi que le sud du pays (province du Luxembourg, est de la province de Liège, et sud de la province de Namur) reste très peu accessible aux emplois.

Toujours à propos de l'accessibilité potentielle aux emplois, nous avons relevé d'autres observations intéressantes sur les Cartes 16 et 17. L'une d'elles est la mise en évidence de l'importance des réseaux de transport, notamment via l'apparition de nombreux « **corridors** » qui divergent tous à partir de Bruxelles. Ces corridors résultent de la présence de voies qui sont non seulement rapides, mais dont l'interface avec les activités et la population est aussi relativement élevée. De telles voies sont, par exemple des nationales ou des chaussées. Le cas des autoroutes est plus compliqué, dans le sens où elles ont une interface réduite ou ponctuelle avec les activités (via les sorties/bretelles d'autoroute). Leur influence sur l'accessibilité est, en quelques sortes, participative (moyennant des vitesses plus élevées, qui permettent une diminution moins rapide de l'accessibilité dans l'espace). C'est pourquoi on rencontre des sortes d'« **îlots** », où l'accessibilité potentielle est plus élevée (exemple de Brugge). Outre la présence de voies rapides, la formation de ces îlots est également due aux plus fortes concentrations d'emplois dans certaines communes.

Les cartes d'**accessibilité potentielle à la population** (Cartes 18 à 20) requièrent une interprétation différente de celle utilisée pour les emplois. En effet, les valeurs d'accessibilité figurant sur les différentes cartes pourraient être interprétées comme des potentiels de marché

dont dispose chaque commune. Par conséquent, il s'agirait ici d'une mesure du nombre de personnes qui pourraient – potentiellement – se déplacer vers une commune déterminée. A titre d'exemple, la ville de Bruxelles attirerait environ 1.500.000 personnes motorisées (soit 15 % de la population belge). Si le seul mode de transport utilisé était la voiture et que toute congestion était inexistante sur le réseau, la meilleure localisation pour une entreprise (en termes de proximité par rapport au marché belge) serait donc Bruxelles.

Enfin, d'autres observations – semblables à celles faites au sujet de l'accessibilité potentielle aux emplois – montrent encore la présence d'un axe Bruxelles-Antwerpen, ou encore celle de nombreux corridors divergeant (convergeant) à partir de (vers) Bruxelles. La faible accessibilité du sud du territoire est également mise en évidence, montrant ainsi que, à cause de la géométrie préférentielle du réseau routier, des communes comme celles situées dans la province du Luxembourg sont caractérisées par un faible potentiel de marché. Contrairement à la situation du sud du pays, le nord bénéficie d'une accessibilité potentielle très favorable (exception faite du nord du Limbourg et de l'ouest de la Flandre Occidentale).

Notons que, **dans le cadre de l'établissement d'un plan de transport**, la méthode basée sur l'accessibilité potentielle peut être très utile pour estimer le potentiel de marché d'un ou de plusieurs terminaux de transport (gare, arrêt de bus, ...). L'analyse peut non seulement être menée sur l'ensemble d'un réseau de transport (afin de juger de la situation actuelle), mais aussi à titre exploratoire, dans le but d'agrandir le réseau (afin d'estimer le potentiel d'un nouveau terminal).

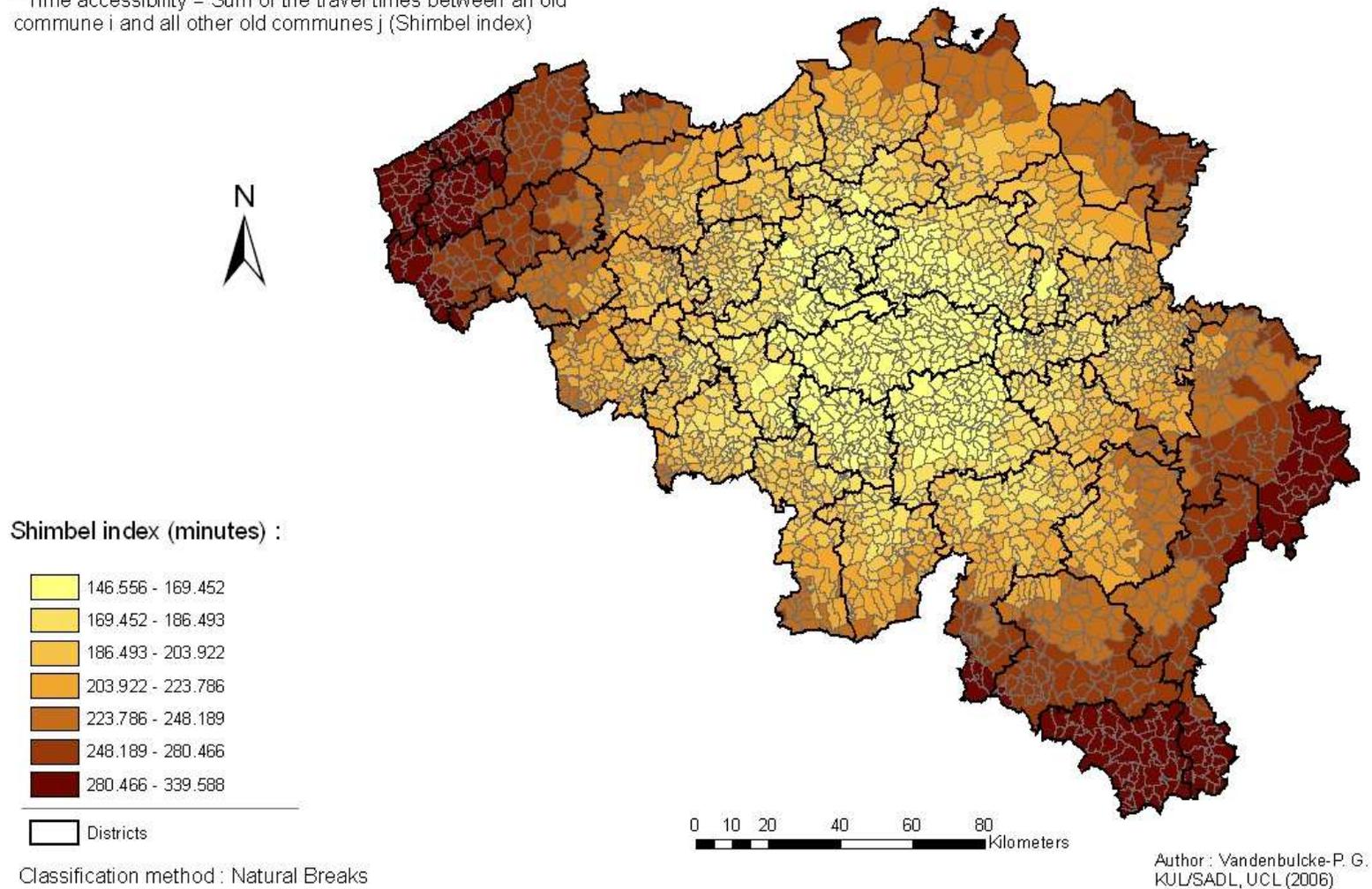
2.3. Critique des résultats

Les critiques **positives** et **négatives** du modèle sont, pour la plupart, semblables à celles évoquées dans le point 2. Toutefois, d'autres critiques peuvent être ajoutées :

- i. Tout d'abord, la méthode utilisée ici présente l'avantage d'intégrer des pondérations (population, emplois) dans le modèle.
- ii. Néanmoins, cette méthode pose plusieurs problèmes, notamment celui lié à la plus grande difficulté d'interprétation des résultats. En outre, la méthodologie implique un certain nombre d'hypothèses qui introduisent chacune un léger biais dans les résultats.
- iii. Dans le cadre de cette analyse, les mesures d'accessibilité potentielle sont seulement appliquées à la voiture. Or, d'autres modes de transport pourraient entrer en ligne de compte et ainsi constituer des mesures intéressantes d'accessibilité. L'utilisation d'une autre aire d'étude (par exemple, au niveau d'une province) et d'une échelle d'analyse plus fine (par exemple, les secteurs statistiques) pourraient également produire d'intéressants résultats.

Time accessibility* in Belgium

* Time accessibility = Sum of the travel times between an old commune i and all other old communes j (Shimbel index)



Carte 14 : Accessibilité temporelle en Belgique (indice de Shimbel)

Jobs* potentially accessible by car

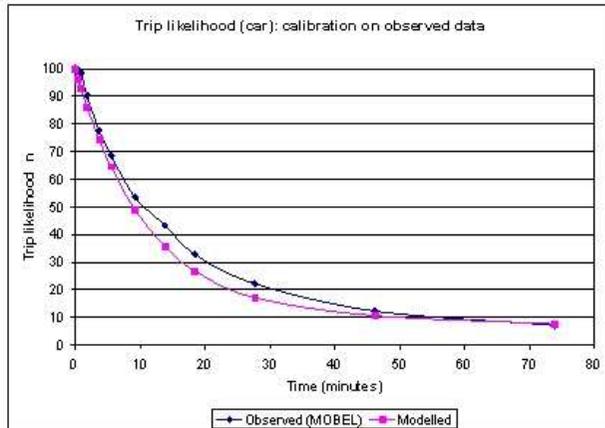
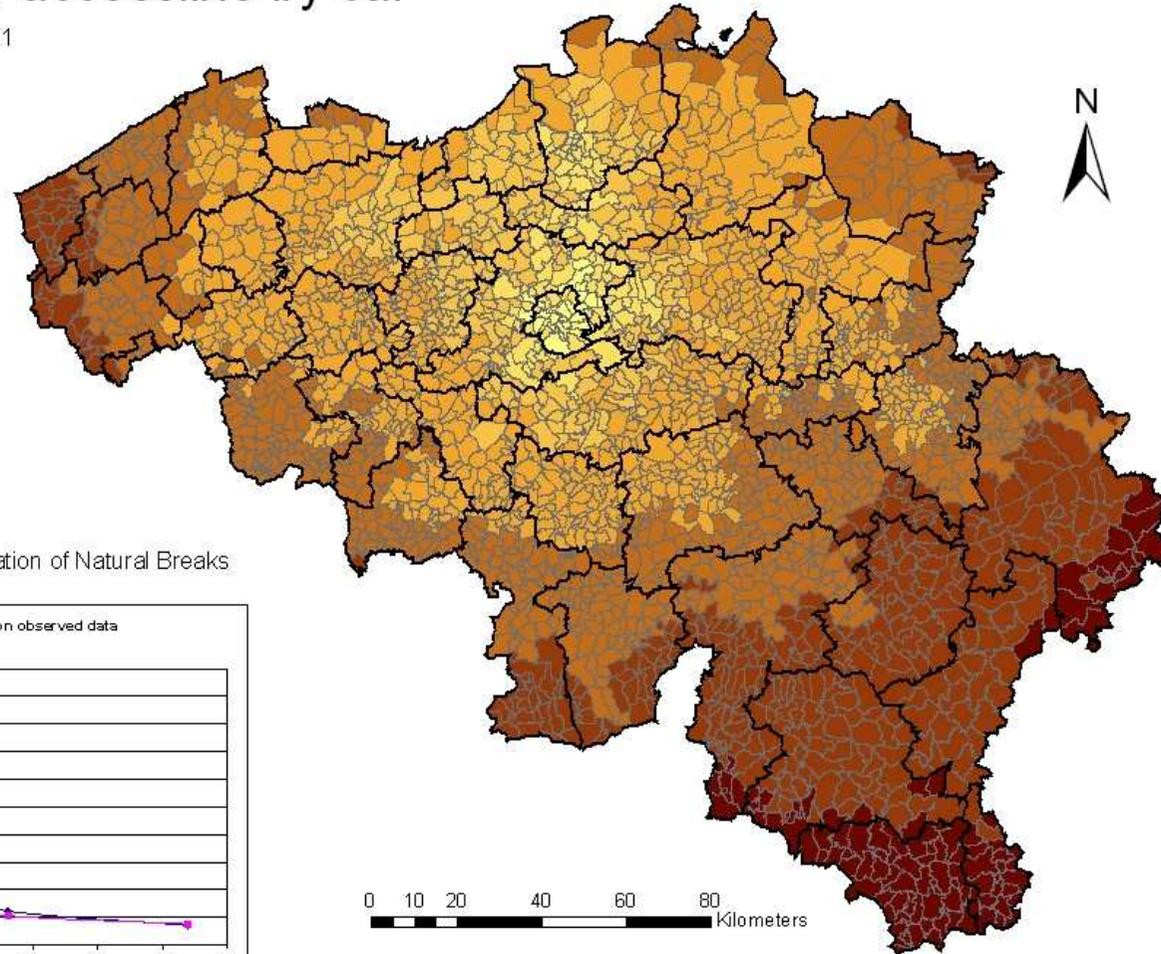
* Situation of jobs at the 01/10/2001

Number of jobs potentially accessible :



— Districts

Classification method : Approximation of Natural Breaks



Author : Vandembulcke-P. G.
KUL/SADL, UCL (2006)

Carte 15 : Nombre d'emplois potentiellement accessibles en voiture - Méthode de Classification : Natural Breaks

Jobs* potentially accessible by car

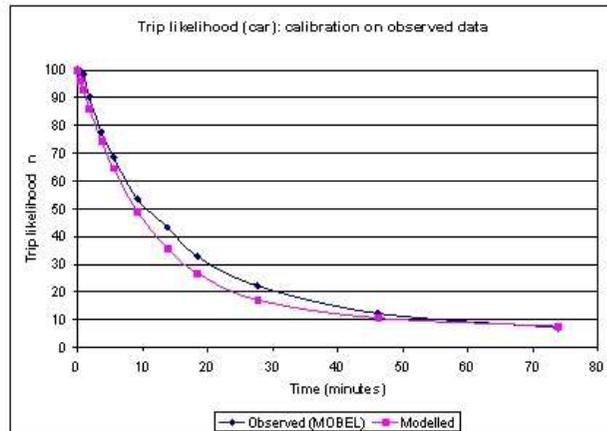
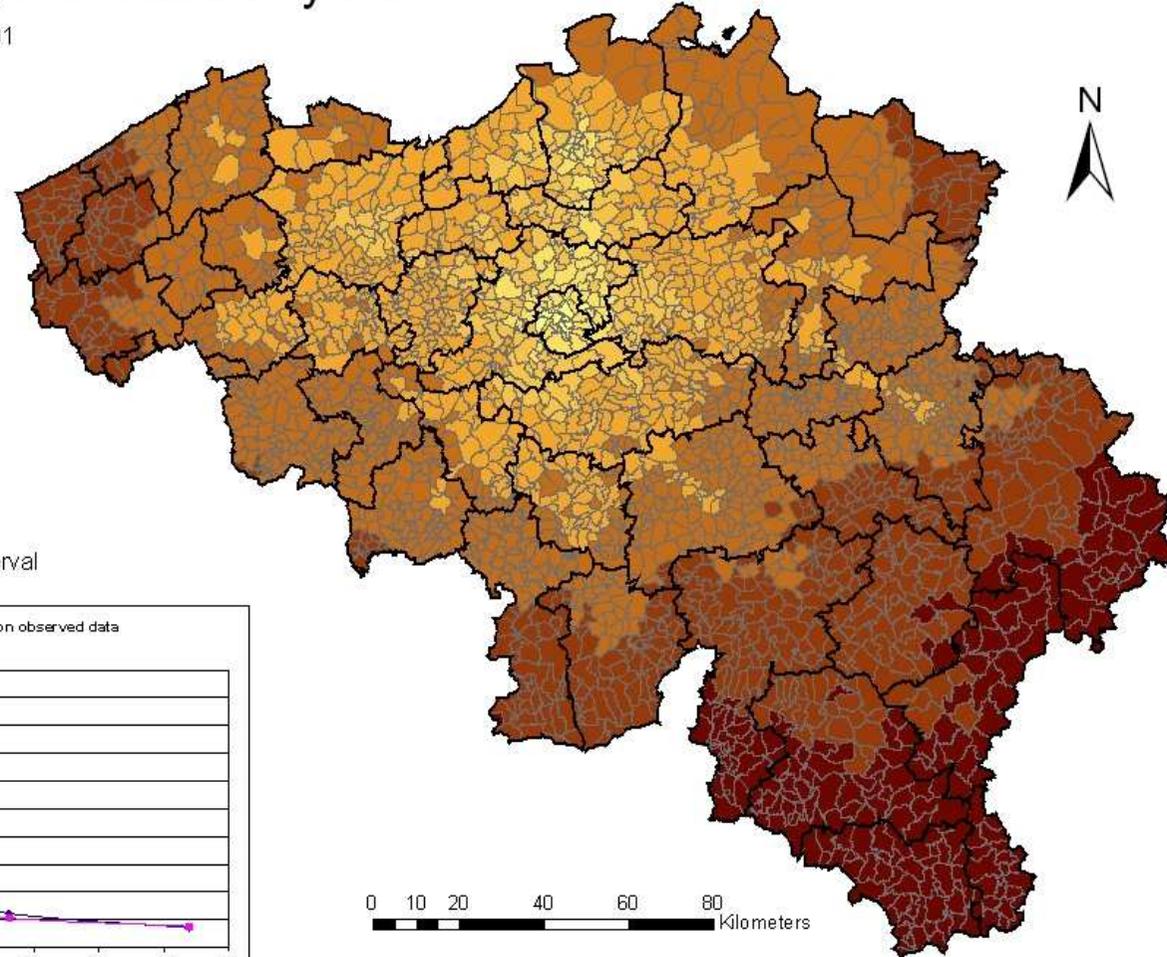
* Situation of jobs at the 01/10/2001

Number of jobs potentially accessible :



— Districts

Classification method: Equal Interval



Author : Vandenbulcke-P. G.
KUL/SADL, UCL (2006)

Carte 16 : Nombre d'emplois potentiellement accessibles en voiture - Méthode de classification : Equal Interval

Jobs* potentially accessible by car

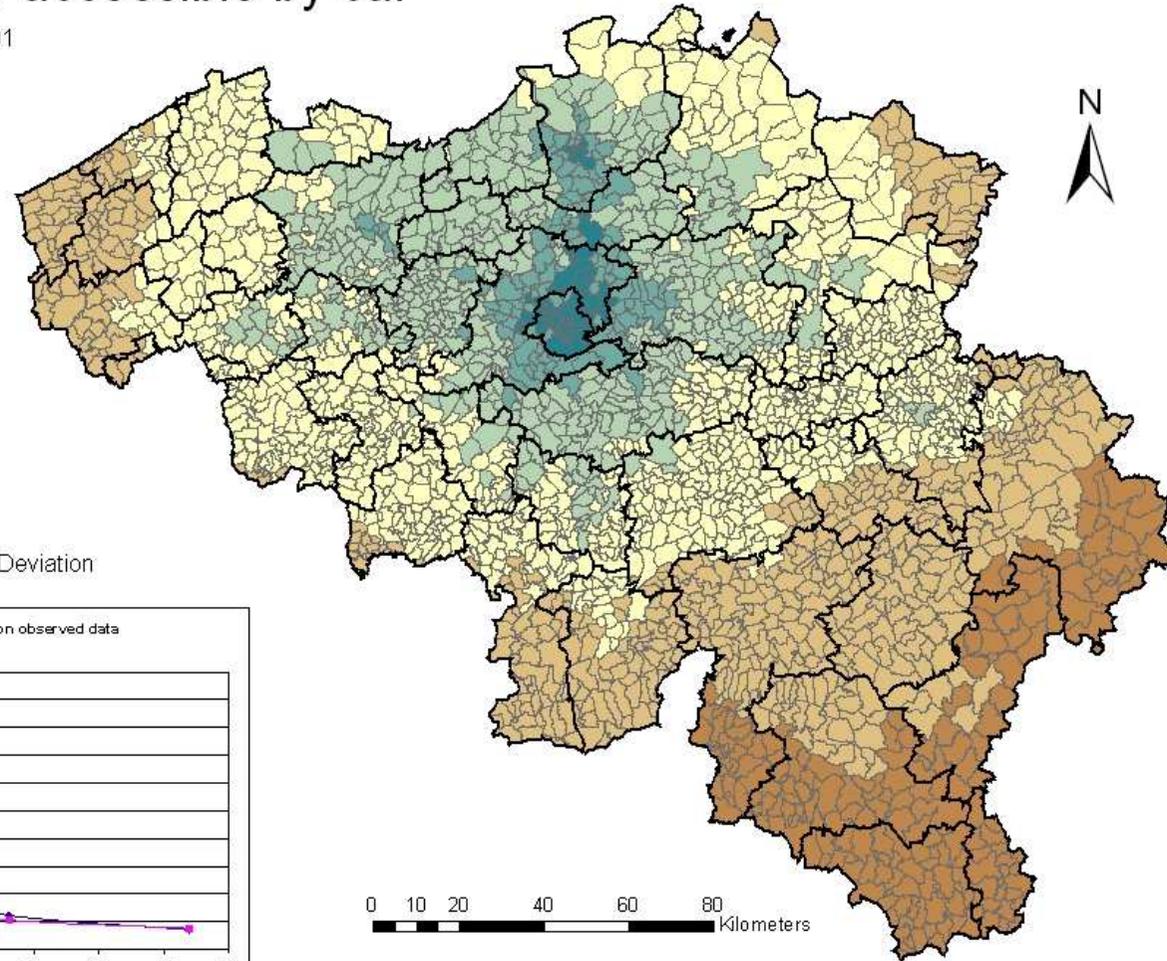
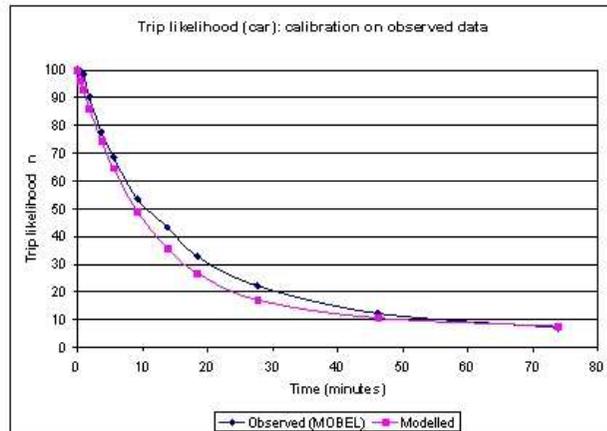
* Situation of jobs at the 01/10/2001

Number of jobs potentially accessible :



— Districts

Classification method : Standard Deviation



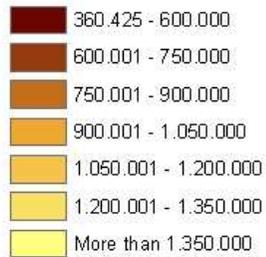
Author : Vandembulcke-P. G.
KUL/SADL, UCL (2006)

Carte 17 : Nombre d'emplois potentiellement accessibles en voiture - Méthode de classification : Standard Deviation

Population* potentially accessible by car

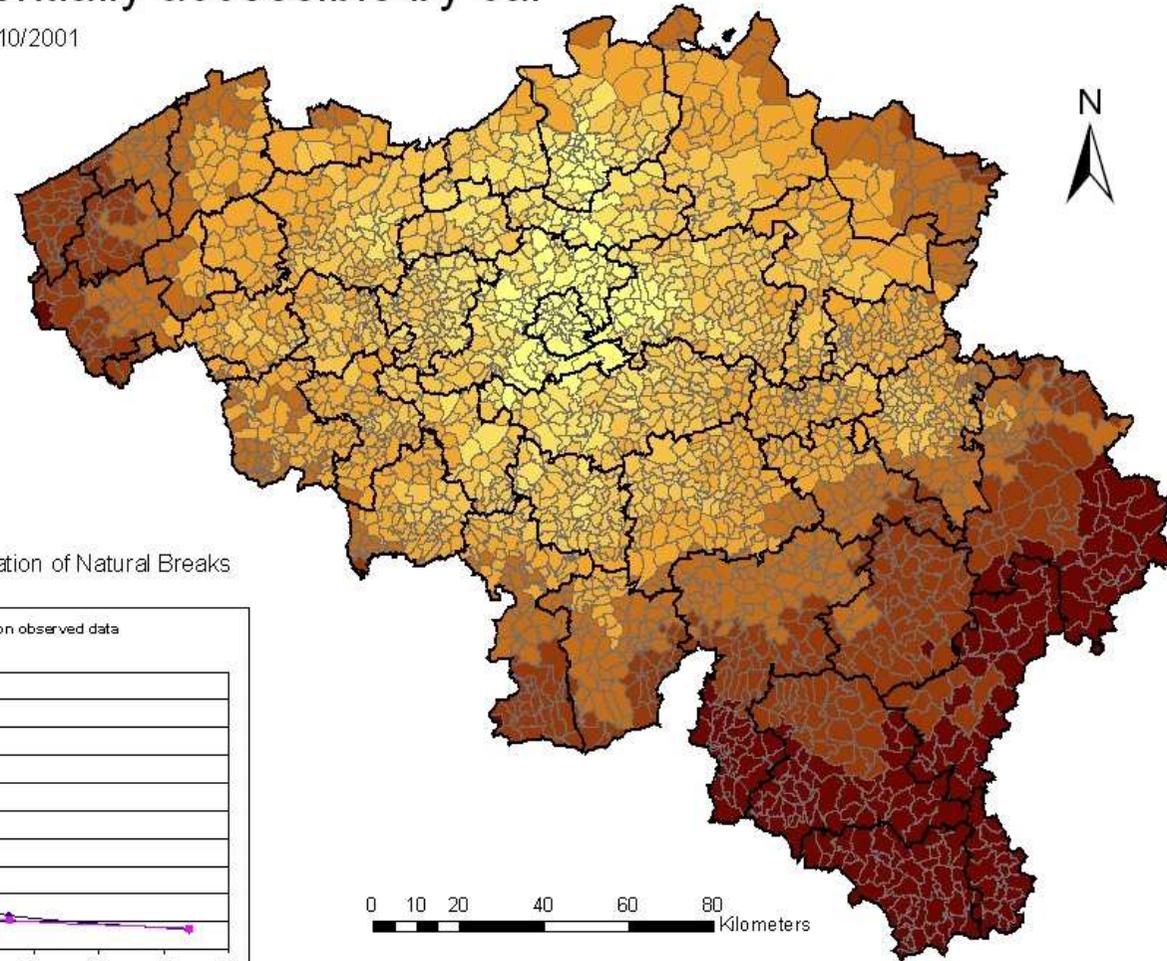
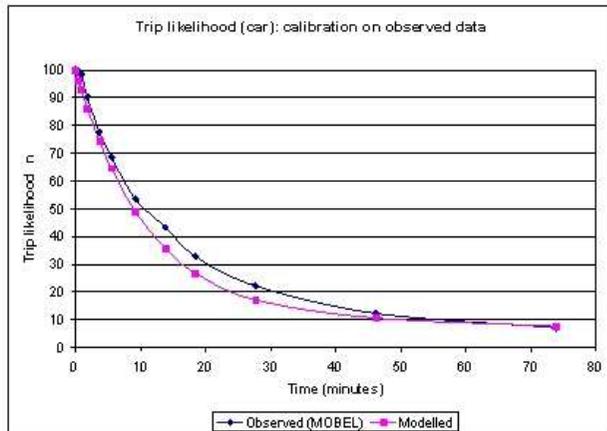
* Situation of population at the 01/10/2001

Number of inhabitants potentially accessible :



— Districts

Classification method: Approximation of Natural Breaks



Author : Vandenbulcke-P. G.
KUL/SADL, UCL (2006)

Carte 18 : Nombre d'habitants potentiellement accessibles en voiture - Méthode de classification : Natural Breaks

Population* potentially accessible by car

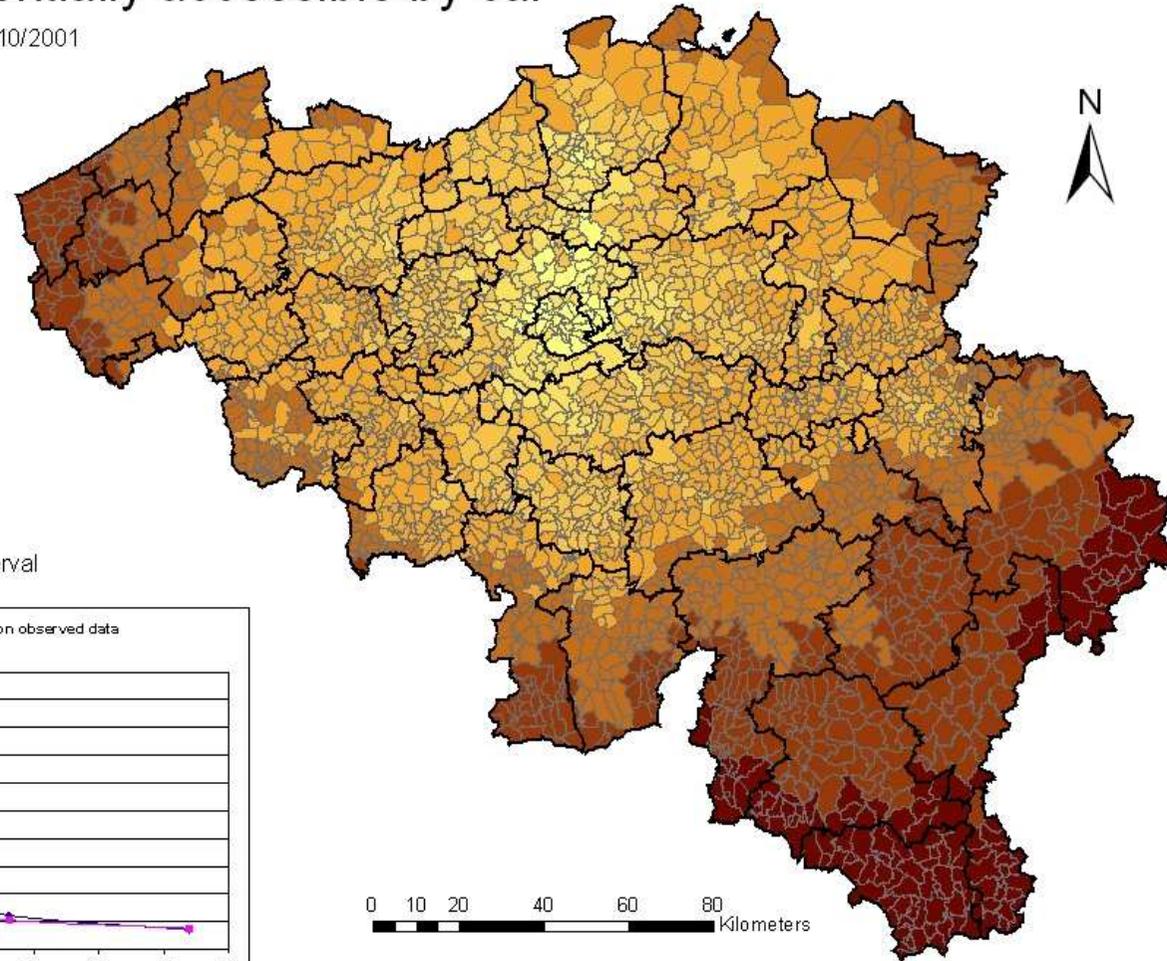
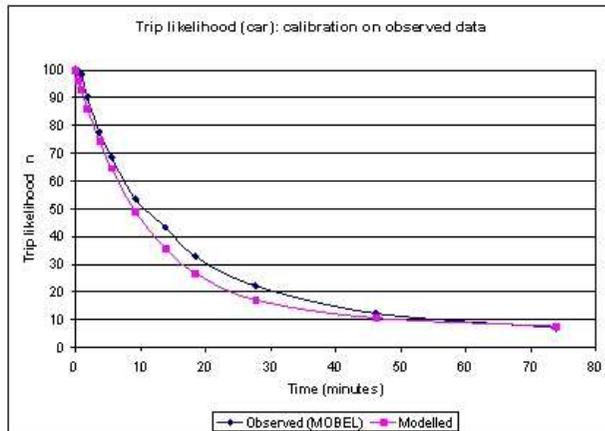
* Situation of population at the 01/10/2001

Number of inhabitants potentially accessible :



— Districts

Classification method: Equal Interval



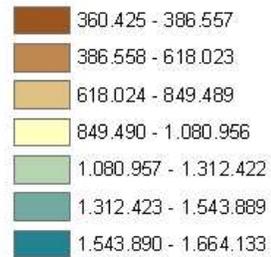
Author : Vandenbulcke-P. G.
KUL/SADL, UCL (2006)

Carte 19 : Nombre d'habitants potentiellement accessibles en voiture - Méthode de classification : Equal Interval

Population* potentially accessible by car

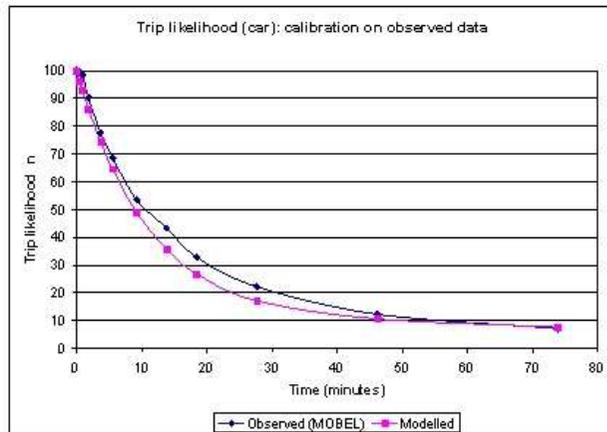
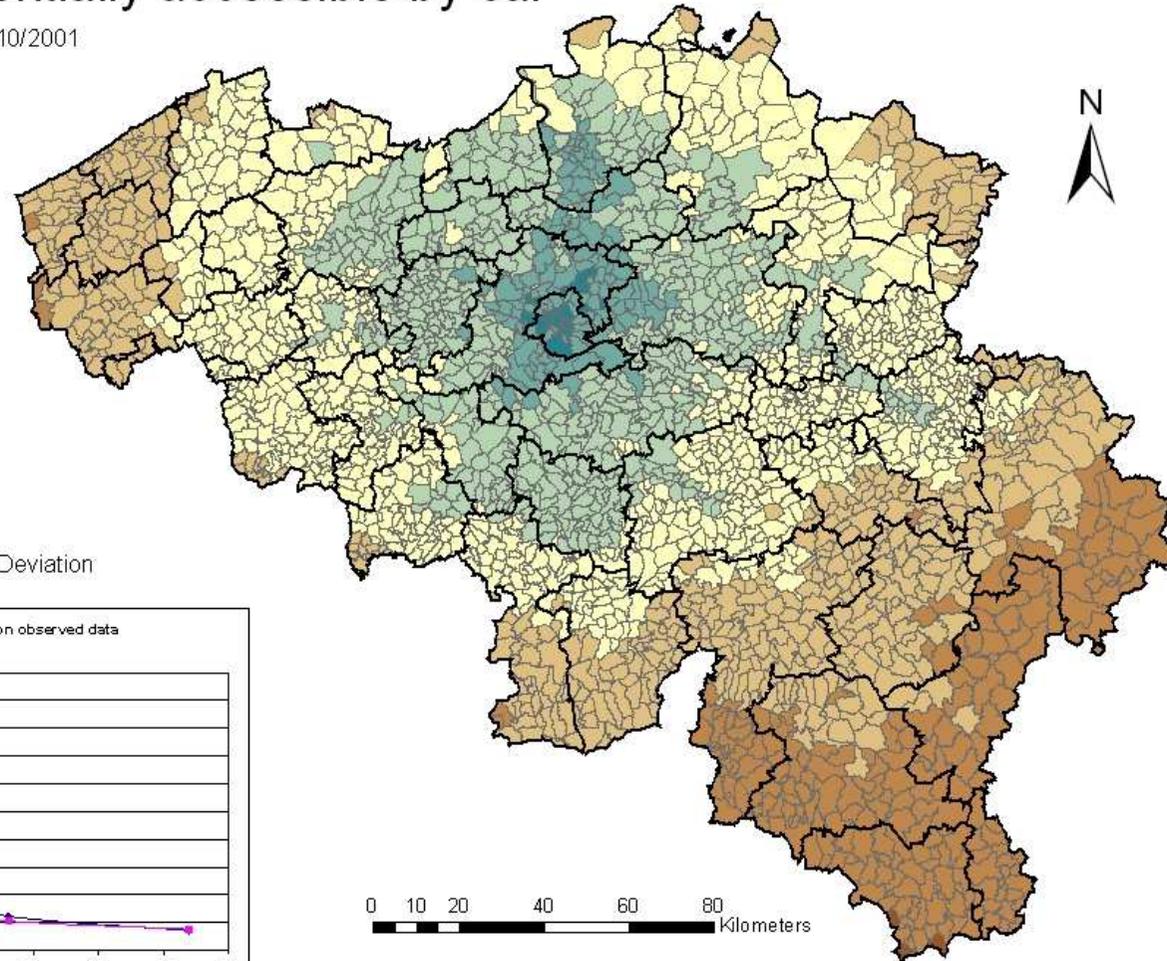
* Situation of population at the 01/10/2001

Number of inhabitants potentially accessible :



— Districts

Classification method : Standard Deviation



Author : Vandebulcke-P. G.
KUL/SADL, UCL (2006)

Carte 20 : Nombre d'habitants potentiellement accessibles en voiture - Méthode de classification : Standard Deviation

3. Accessibilité aux aéroports belges

3.1. Données utilisées

Les différentes données **utilisées** dans cette analyse sont les suivantes :

- Banque de données routières disponibles à l'UCL et à la KUL (627.856 arcs)
- Banque de données sur la population et l'emploi par commune (01/10/2001). Source : INS (voir <http://statbel.fgov.be/>)
- Supports cartographiques du réseau routier et des différentes limites administratives du territoire belge (arrondissements, communes, anciennes communes, secteurs statistiques). Source : IGN.
- Base de données relative à la localisation des aéroports belges. Source : IGN.

3.2. Méthodologie et différentes étapes du travail

Avant d'aborder la méthodologie, il convient à nouveau de donner les informations suivantes:

- **Aire d'étude** : Belgique
- **Echelle d'analyse** : INS 6 (anciennes communes, datant d'avant la fusion de 1977)
- Situation en **heures creuses** (21h00-5h00) et situation durant les **heures de pointe** (7h00 à 10h00 et 15h00-20h00)
- **Logiciel informatique** utilisé : ArcGIS 9.1 (extension : Network Analyst)

3.2.1. Méthodologie

Dans le cadre de cette méthodologie, le but est de construire une mesure de l'accessibilité vers des infrastructures de type aéroportuaire. En Belgique, il y a **cinq aéroports** au total, qui sont utilisés pour le transport de fret et de passagers. En termes de passagers, les deux aéroports les plus importants du pays sont ceux de Bruxelles (Zaventem) et de Charleroi. C'est pourquoi, à un moment donné, nous ne nous focaliserons exclusivement que sur ces deux aéroports.

Le **but de la méthodologie** sera ici d'étudier la distance temporelle (temps de parcours) entre une ancienne commune i et chacun des aéroports. Sur base des résultats obtenus dans le Network Analyst, nous ne retiendrons finalement que la distance minimum entre une ancienne commune i et un aéroport j . De ce fait, nous obtenons une cartographie des distances temporelles, et donc des « aires de service » autour de chacun des aéroports, mettant ainsi en évidence les communes les plus défavorisées au niveau de l'accessibilité en voiture vers un aéroport belge.

Afin de calculer l'accessibilité de chaque commune i pour se rendre à l'aéroport le plus proche, nous utilisons à nouveau le même type de réseau routier que celui utilisé dans les points 2 et 3. Les origines sont également les mêmes (centroïdes des secteurs administratifs), mais les destinations reprises correspondent par contre aux différents aéroports belges (ce qui représente donc 5 destinations). En outre, le réseau est hiérarchisé sur base de différentes vitesses, et les temps de parcours résultants ont été corrigés à l'aide de la fonction d'impédance définie dans le point 2 (notamment pour tenir compte de la traversée des régions urbaines).

Dans le but d'effectuer des comparaisons entre une situation de congestion et une autre où la congestion n'est pas considérée, nous avons décidé d'intégrer la **congestion** dans notre méthode. Avant de passer aux résultats, nous attachons donc une certaine importance à décrire comment nous avons intégré la congestion routière dans nos calculs de temps de parcours.

3.2.2. Intégration de la congestion dans les calculs d'accessibilité

En général, pour rejoindre une grande ville ou un aéroport, le temps de parcours n'est pas fixe et ne dépend pas seulement de la distance à parcourir et du type de voirie empruntée. Souvent, on distingue pour une même journée des heures où la densité du trafic sur les routes est plus élevée (heures de pointe), et d'autres heures où elle l'est moins (heures creuses). Lorsque le trafic est fluide (ou de faible densité), le temps de parcours ne varie presque pas par rapport aux calculs que nous avons fait précédemment. Par contre, lorsque le nombre de véhicules augmente de plus en plus sur la route, le temps de parcours diminue progressivement. A saturation, la capacité des infrastructures est atteinte et le temps de parcours est alors maximal. On parle, dans ce cas, de **congestion routière**. Aussi, dans notre modèle (et bien que seul l'itinéraire le plus rapide soit pris en compte), nous avons décidé d'intégrer le phénomène de la congestion afin d'identifier certaines régions plus saturées que d'autres, ainsi que les répercussions de la congestion sur les temps de parcours (et donc, sur le niveau d'accessibilité des communes).

Afin d'intégrer la congestion dans un modèle, on utilise généralement des données de densité de trafic, qu'on compare à la vitesse réalisée sur le réseau (ou à des temps de parcours). De très nombreux ouvrages spécialisés en transport montrent ainsi qu'il existe une relation entre la vitesse et la densité de trafic (Greenshields, 1935 ; Drake *et al.*, 1967 ; Hall *et al.*, 1992). La **fonction volume-délai**, par exemple, permet de trouver le chemin optimal entre une origine i et une destination j en tenant compte du lien qu'il y a entre flux de trafic et temps de parcours sur chacun des arcs. Soit un arc de capacité C et de longueur L , reliant i (origine) à j (destination). Dans ce cas, la fonction volume-délai traduit la relation entre le débit (ou flux de trafic ϕ) et le temps de parcours t sur base de la relation suivante (N'diaye, 2006) :

$$t = t_0 + a \cdot \left(\frac{\phi}{C} \right)^b$$

Où a, b sont des constantes à calibrer à partir de données empiriques de trafic

C est la capacité de l'arc

t_0 est le temps de parcours mis entre i et j , lorsqu'il n'y a aucun (ou qu'un seul) usager sur la route

En d'autres termes, la relation ci-dessus signifie que, pour des débits croissants de circulation, il y a augmentation du temps de parcours entre i et j . Dans le cas extrême où le débit est approximativement égal à C , le temps de parcours t devient très élevé et tend généralement vers l'infini. Une telle situation n'est toutefois pas réaliste puisque les infrastructures de transport ne sont pas conçues et exploitées de sorte à tendre vers des situations de blocage général. C'est pourquoi, certaines valeurs de t (tendant vers l'infini) sont exclues lorsque $\phi \approx C$.

Dans le but de **modéliser les flux de trafic** (et, donc, de calculer des temps de parcours sur base de ces flux), plusieurs modèles ont également été construits, le plus célèbre étant celui de

B.D. Greenshields (1935) qui fut le premier à mettre au point un modèle sur base de données de trafic. Ce dernier montre que les flux suivent une logique parabolique en fonction de la densité de véhicules (voir Figure 6). D'autres algorithmes conçus pour générer une répartition du trafic entre différents itinéraires sont, par exemple, ceux basés sur les méthodes de « Capacité limitée », d'« Affectation Incrementale », ou des « Combinaisons Convexes » (méthode Frank-Wolfe). Seule la dernière méthode (« Combinaisons Convexes ») respecte le principe de Wardrop.

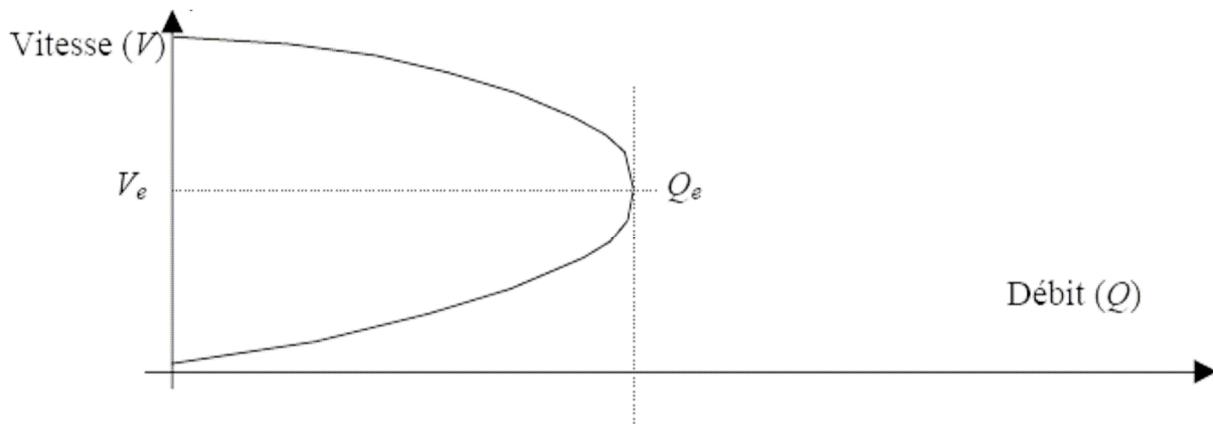


Figure 6 : Profil de la vitesse en fonction du débit (Enault, 2005)

Pour intégrer l'effet de la congestion sur le temps de trajet entre deux points (i et j), il existe donc plusieurs manières de procéder mais chacune d'elle reste basée sur un certain nombre d'hypothèses et simplifications. En raison de certaines **contraintes** techniques et temporelles, chacune des alternatives qui s'offraient à nous pour intégrer la congestion n'a pas pu être mise en œuvre. Par exemple, l'encodage des données de trafic pour plus de 620.000 arcs s'avère difficilement réalisable dans les limites du temps qui nous sont imparties (et cela même après catégorisation des arcs, ce qui doit d'ailleurs se faire suivant la base de données de trafic dont nous disposons).

3.2.3. Quelles sont les possibilités et les moyens pour intégrer la congestion ?

Les **différentes possibilités** que nous avons exploré pour tenir compte de la congestion sont les suivantes :

1. Une méthode envisageable pour intégrer la congestion consisterait à utiliser les flux et le degré de saturation sur les routes, notamment en se basant sur les **résultats des postes de comptage automatique**. Ces derniers reprennent, d'une part l'intensité moyenne journalière (de 6 à 22h, pour chaque sens de circulation), et d'autre part le pourcentage de saturation par rapport au seuil conventionnel de 2000 véhicules par heure et par voie (cf. Recensement de la circulation 2004). L'avantage que l'on peut retirer de l'utilisation de ces données est que l'on se base sur des données empiriques. Toutefois, les données de saturation ont l'inconvénient de ne porter que sur les autoroutes et les grands rings (R0, R1, ...), ce qui nous aurait forcé à faire une interpolation (des données de saturation) sur l'ensemble du réseau routier belge. En ce sens, les résultats risquaient de ne pas être très représentatifs de la réalité. Toujours à propos des données de saturation, on peut remarquer que les résultats correspondent à une moyenne pour un sens bien précis de la circulation et pour une période très large de la journée (matin ou après-midi), ce qui donne

parfois des résultats très semblables d'un sens de circulation à l'autre. Nous ne pouvons donc pas vraiment faire de distinction entre les heures creuses et les heures de pointe. Or, pour une même heure, le degré de saturation (ou la congestion) n'est pas vraiment le même selon le sens de circulation considéré. Un autre moyen d'intégrer la congestion aurait été de se baser sur les données de flux sur les routes. Pour ce faire, il aurait d'abord fallu regrouper certains arcs sur base des données routières utilisées pour le recensement (c'est-à-dire faire correspondre les arcs utilisés pour le recensement et ceux utilisés dans le cadre de ce projet), et ensuite, attribuer une valeur à chacun des regroupements d'arcs. Néanmoins, le temps de traitement aurait été trop long, excluant ainsi l'idée d'utiliser les flux pour intégrer la congestion dans notre modèle. Dans le cadre de notre analyse, il aurait donc été intéressant de disposer de **données géoréférencées** sur le trafic et la saturation (**pour l'ensemble du réseau**). Enfin, un dernier problème relatif aux résultats des postes de comptage automatique est lié à la conversion du degré de saturation (ou du flux) en perte de temps de parcours pour un même arc du réseau. En effet, pour obtenir des résultats représentatifs de la réalité, il faudrait disposer de données de capacité pour chaque arc routier (et ensuite les associer une à une pour chaque arc).

- Même si nous disposions de chiffres de degré de saturation pour chaque arc et pour chaque **sens de circulation** (et exclusivement pendant les heures de pointe), d'autres problèmes risqueraient encore de se présenter parce que nous ne disposons pas de variable définissant les sens de circulations sur notre réseau digitalisé. Sans sens de circulation, le programme Network Analyst risque de nous fournir des résultats biaisés. En effet, l'usager virtuel pourrait très bien prendre le sens qui est le moins congestionné des deux (et donc le plus rapide, temporellement), sans pour autant qu'il s'agisse du bon sens de circulation. Tant que chaque arc n'a pas de sens de circulation bien défini, il est donc déconseillé de faire tourner le Network Analyst, sans quoi les résultats risquent d'être faussés. Il faudrait donc créer un nouvel attribut définissant le sens de circulation pour chacun des 627.856 arcs, ce qui pourrait prendre un certain temps à mettre en œuvre.

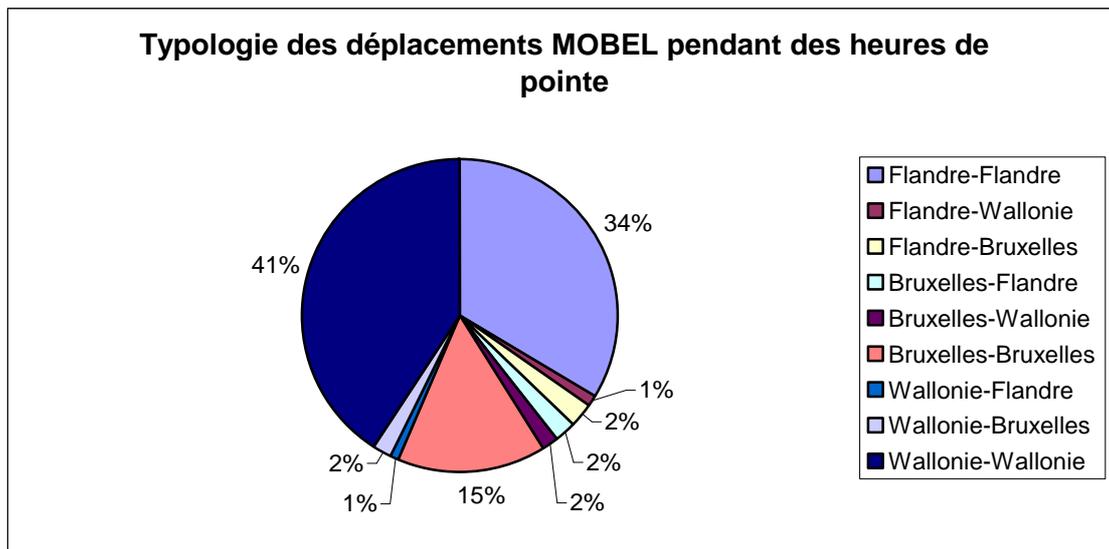


Figure 7 : Types de déplacements (effectués pendant les heures de pointe et entre les régions) retenus par l'enquête MOBEL (Source : Données MOBEL, 1998/99).

- Un autre moyen d'introduire la congestion est de se baser sur les données récoltées par des **enquêtes de déplacement** telles que MOBEL. Dans ce cas, il serait alors possible d'évaluer la congestion à partir d'une simple différence entre le temps de parcours mis

pendant les heures de pointe, et celui mis pendant les heures creuses ($t_{\text{heures de pointe}} - t_{\text{heures creuses}}$). Toutefois, dans le cas de MOBEL, nous avons non seulement remarqué que l'échantillon de données était trop petit, mais aussi que les déplacements retenus par l'enquête étaient majoritairement effectués dans une seule et même région (par exemple, Flandre-Flandre, ou Wallonie-Wallonie). En effet, on remarque dans la figure 7 que, pour des heures où le réseau est (ou devient) saturé (soit 14.095 déplacements sur 21.096 au total), environ 41 % des déplacements retenus par l'enquête MOBEL se font d'une commune wallonne vers une autre, 34 % des déplacements se font au sein de la Région flamande, et 15 % de déplacements restent circonscrits dans la Région de Bruxelles-Capitale. Au total, 90 % des déplacements sont donc de type intra-régional. Le fait que la plupart des déplacements se fassent au sein d'une seule et même région ne permet donc pas de calibrer correctement une fonction de temps de parcours pour des heures de congestion. Pour cela, l'échantillon aurait dû compter un plus grand nombre de déplacements entre chaque région du pays. Enfin, une dernière remarque concernant l'analyse de données d'enquêtes de déplacements est que, même si nous avions à notre disposition un échantillon de données assez large et fiable, nous n'aurions probablement pas eu le temps de pouvoir procéder à un calibrage de notre modèle (ce type de contrainte temporelle est surtout due au fait que le projet porte sur un grand nombre de moyen de transports, ce qui fait que nous ne pouvons jamais nous attarder trop longtemps sur un mode en particulier).

4. Une autre solution que nous avons envisagé est de se baser sur une zone particulière (par exemple, une agglomération), caractérisée par un niveau de congestion plus important que son environnement direct. Cette « **zone de congestion** » correspondrait donc à une surface dans laquelle le réseau routier serait saturé pendant certaines heures de la journée. Par exemple, nous pourrions supposer que l'ensemble du réseau routier inclus dans l'agglomération bruxelloise aurait un fort degré de congestion. Néanmoins, bien que cette idée ait déjà été exploitée par d'autres chercheurs (Hilal, 2003), notamment au travers de zones urbanisées, l'échelle d'analyse utilisée ici est trop grande et une perte d'information conséquente risque d'en résulter (en effet, pour une zone homogène correspond une et une seule valeur de congestion, ce qui n'est pas représentatif de la réalité).

Enfin, au vu des différents essais et possibilités envisagées, intégrer la congestion dans un modèle n'est pas aussi aisé qu'il n'y paraît. Etant donné que la dernière alternative est celle faisant le meilleur compromis entre aspects techniques (base de données) et temporels (temps de traitement), nous avons alors décidé d'exploiter l'idée basée sur la création de différentes zones de congestion. Toutefois, au lieu de considérer une grande aire urbaine et de construire des zones où chaque arc se voit affecter une vitesse plus réduite (à cause de la traversée d'une zone urbanisée), nous affectons à **chaque commune** une impédance qui dépend de ses caractéristiques propres (au niveau de la densité de population et de la densité d'emplois), comme cela a d'ailleurs été fait dans le point 2. Ainsi, nous renforçons l'influence du coefficient α (en l'augmentant à une valeur fixe) et chaque arc du réseau routier se voit alors attribuer une valeur d'impédance qui est fonction de la commune (et donc du type de zone, urbain ou rural) traversée.

La seule et unique **différence** qu'il y a avec le point 2 se situe donc **au niveau du calibrage de la valeur du coefficient α** . Dans le cas où cette valeur est plus grande, nous considérons donc que les grands centres de population et les zones d'activités où l'emploi est important exercent une sorte de « force de frottement » plus importante sur le déplacement d'un individu

x . Celui-ci voit donc son temps de parcours s'allonger lorsqu'il traverse ou passe à proximité de zones urbaines.

Notons que, dans la littérature, le **lien entre les densités de population et les temps de parcours** (ou les vitesses) a déjà souvent été mis en évidence. Par exemple, P.W. Newman et J.R. Kenworthy (1991) montrent qu'il existe un lien entre la densité de population (ou encore la forme urbaine) et la vitesse de circulation. Ainsi, dans les grandes villes américaines et australiennes, les densités de population sont relativement faibles et les vitesses importantes (44 km/h). A un niveau intermédiaire se trouvent les villes européennes, pour lesquelles les densités de population sont moyennes et les vitesses tournent autour des 30 km/h. Enfin, les villes asiatiques sont celles caractérisées par des densités très élevées, et donc aussi par des vitesses relativement faibles (environ 24 km/h). Il existe donc bien une relation inverse entre les densités de population et les vitesses : lorsque la densité est élevée, la vitesse est faible. Et inversement.

Complémentairement aux densités de population, on rappellera qu'il est aussi fait usage des **densités d'emplois** pour calculer les temps de parcours. En effet, des quartiers à faible densité de population mais comptant un grand nombre d'emplois (par exemple, le *Central Business District* ou des grands parcs industriels) sont également caractérisés par des niveaux de saturation du réseau très élevés.

3.2.4. Analyse de l'accessibilité aux cinq aéroports belges

Au préalable, notons que la congestion telle qu'elle a été définie ici reflète un état bien particulier de la circulation durant les heures de pointe. En effet, dans la réalité, la congestion varie en intensité pendant la journée, ce qui a pour effet de faire varier le temps qu'un individu x met sur le réseau routier entre une origine i et une destination j . Suite à cela, deux **hypothèses** doivent être posées :

- **La valeur du coefficient α ne varie pas en fonction du temps** lors du déplacement entre i et j . Par exemple, si un individu part à 7h00 du matin de son domicile et qu'il a deux heures de trajet pour rejoindre son lieu de travail, nous considérerons que le degré de saturation du réseau n'évolue pas (autrement dit, il gardera toujours le même degré de saturation que celui correspondant à 7h00 du matin).
- **La valeur du coefficient α correspond à un état bien particulier de la circulation**, que nous n'avons pas pu calibrer sur une situation empirique à cause d'un manque de données fiables sur les temps de déplacement (notamment en ce qui concerne MOBEL). Pour calibrer α , nous nous sommes donc basés sur des itinéraires connus et expérimentés, ce qui a pour effet d'introduire un léger biais. Néanmoins, nous verrons sur les cartes que les résultats sont très proches de la réalité.

En plus de ces deux hypothèses (qui pourraient être levées dans des analyses ultérieures), il faut aussi remarquer que **la congestion analysée ici est celle causée par la saturation générale du réseau routier, et non pas par des événements ponctuels tels que des accidents, manifestations, ou chantiers**. En effet, ces derniers ne sont pas considérés à cause de leur caractère ponctuel dans l'espace et dans le temps.

Suite à l'analyse de la Carte 21, nous constatons pour la situation en **heures creuses** que le temps de parcours aux aéroports n'excède généralement pas une heure, sauf pour certaines

communes frontalières (arrondissement de Tournai, arrondissement de Maaseik, sud de l'arrondissement de Dinant, est de l'arrondissement de Verviers, et province du Luxembourg). Dans le sud de la province du Luxembourg (arrondissements de Virton et d'Arlon), le temps de parcours pour rejoindre l'aéroport belge le plus proche est même supérieur à 1h30.

En situation de **congestion** (voir Carte 22), nous remarquons que le nombre de communes ayant la possibilité d'atteindre un aéroport en moins d'une heure diminue très fortement. Parallèlement, le nombre de communes pour lesquelles il faut plus d'une heure et demi de temps de parcours pour rejoindre un aéroport augmente. Ainsi, on remarque une réduction de l'accessibilité, qui se manifeste surtout par une extension des zones les plus périphériques (déjà été identifiées pour les heures creuses) Presque toute la province du Luxembourg est concernée par cette réduction d'accessibilité, de même que la Flandre Orientale. La partie occidentale du Hainaut, le nord du Limbourg, le sud-est de la province de Namur, l'est de la province de Liège, le sud de la Flandre Occidentale, et l'est de la province d'Antwerpen sont également concernées par cette réduction d'accessibilité. Certaines communes, telles que celles situées dans l'arrondissement de Tournai, voient aussi leur temps de parcours augmenter de 30 minutes, voire même de 45 minutes dans certains cas.

L'analyse de la Carte 22 nous amène à nous poser la question suivante : **Pourquoi est-ce que les aires périphériques paraissent être celles qui sont les plus fortement affectées par la congestion routière (absolue), et pas les grandes villes** comme Bruxelles, Liège, Charleroi ou Antwerpen ? Très simplement, ce résultat s'explique par le fait que, tout au long de l'itinéraire suivi et pendant des heures de pointe, l'individu accumulera des **pertes de temps**⁵⁶ dues à la traversée (ou au passage à proximité) de zones urbaines. Par exemple, une personne habitant dans la localité de Wiers (commune de Péruwelz) et voulant se rendre à l'aéroport de Charleroi prendra très probablement l'autoroute E42 en direction de Liège. Pour ce faire, elle devra traverser un certain nombre de communes, où elle perdra à chaque fois un certain **budget-temps** Δt_i (qui sera plus ou moins élevé en fonction du type de zone traversé). Au final, on aura donc un **montant total de pertes de temps** (noté ΔT), que l'on écrit :

$$\Delta T = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \dots + \Delta t_n$$

Où Δt_n est la dernière perte de temps occasionnée sur le dernier arc (routier) reliant la destination de l'individu considéré. La relation entre le temps de parcours en heures creuses ($T_{off-peak\ hours}$) et celui en heures de pointe ($T_{peak\ hours}$) peut donc être déduite très facilement :

$$T_{peak\ hours} = T_{off-peak\ hours} + \Delta T$$

Après cette explication relative aux montants de temps Δt perdus sur l'itinéraire suivi, il est donc compréhensible que la Carte 22 montre les communes les plus éloignées de l'aéroport comme étant celles qui subissent la plus forte réduction d'accessibilité ; dans la somme ΔT (ci-dessus), le montant des pertes de temps occasionnées par la traversée des zones urbaines constitue une part importante de cette réduction d'accessibilité, et rend ainsi très périphériques les communes qui sont les plus distantes des aéroports belges. La Carte 22 illustre donc les **répercussions dues à la saturation** sur les (parties/tronçons de) routes composant l'itinéraire le plus rapide pour atteindre le plus proche aéroport belge. Dans la section suivante (4.2.5.), les résultats montreront que ces (parties/tronçons de) routes sont surtout situées dans les zones urbaines.

⁵⁶ Calculées à partir du temps de parcours normal (c'est-à-dire en heures creuses).

Notons que les **résultats** obtenus ci-dessus (Cartes 21 et 22) sont **critiquables** puisque :

- Dans la réalité, les **terminaux aéroportuaires de Zaventem (Bruxelles) et de Charleroi** concentrent la plupart des vols empruntés par les passagers. Ceux de Liège, Antwerpen et Oostende sont des aéroports plus petits et pour lesquels le nombre de destinations est moins important.
- Idéalement, les **aéroports étrangers** (Eindhoven et Luxembourg) devraient être considérés dans notre analyse. Si c'était le cas, des communes telles que celles situées en province de Luxembourg et en province de Limbourg ne seraient pas aussi périphériques qu'elles ne le paraissent sur les Cartes 21 et 22.

3.2.5. Analyse de la différence de temps de parcours entre la situation de congestion et celle hors-congestion

3.2.5.1. Différence brute entre les deux situations (heures de pointe-heures creuses)

Dans le cadre de cette analyse, un premier objectif sera d'**évaluer la composante ΔT** dans la formule : $T_{peak\ hours} = T_{off-peak\ hours} + \Delta T$. Très simplement, il suffit donc de faire la différence entre le temps de parcours mis pendant des heures de pointe (entre une origine i et une destination j) et celui mis pendant des heures creuses (toujours entre l'origine i et la destination j). Formellement, on a donc l'équation suivante :

$$\Delta T = T_{peak\ hours} - T_{off-peak\ hours}$$

La composante ΔT est, bien sûr, exprimée en minutes. A titre informatif, les valeurs absolues de ΔT sont cartographiées sur la Carte 23. Comme mentionné dans la section 4.2.4., on relève des différences de temps de trajet parfois égales à 30, voire même 45 minutes. Sur base de l'analyse de la carte, nous remarquons que les communes où cette différence est la plus marquée (30-45 minutes) sont situées dans les arrondissements de Tournai, Ath, Oudenaarde, Kortrijk, Aalst, Gent, Dendermonde, Maaseik. Un autre résultat intéressant (et étonnant au premier abord) que nous pouvons relever sur la Carte 23 est que, ni la Région bruxelloise, ni la Région wallonne (en dehors des arrondissements de Tournai et Ath) n'ont à subir de « pertes » de temps (ΔT) comparables à celles observées en Région flamande. Ce résultat s'explique par des densités de population et d'emploi en Flandre qui sont bien supérieures à celles trouvées en Wallonie. Dans le cas de la Région bruxelloise (et également dans le cas de grandes villes comme Liège, Antwerpen, ou Charleroi), les faibles pertes de temps ΔT occasionnées par la congestion s'expliquent d'une part par la proximité des communes par rapport à l'aéroport le plus proche (Zaventem), et d'autre part par le fait que nous considérons déjà – dans le cas des heures creuses – l'impédance liée à la traversée d'une région urbaine (c'est-à-dire le « ralentissement » dû à toutes sortes d'obstacles typiquement urbains, tels que des feux-rouges, des passages-piétons, des rond-points, ...).

Concrètement, l'intérêt de calculer cette différence brute entre deux situations différentes (heures de pointe – heures creuses) est de **localiser les communes ou les régions qui, à cause du phénomène de congestion, accumulent des pertes de temps trop élevées sur leur itinéraire**. Dans le cas où la destination est un aéroport belge (le plus proche), il faut donc interpréter ces régions comme étant celles qui souffrent le plus de la congestion du réseau routier **pour se rendre à l'aéroport considéré**.

3.2.5.2. Différence relative (%) entre les deux situations (heures de pointe-heures creuses)

Une autre manière d'analyser l'influence du phénomène de la congestion sur l'accessibilité aux aéroports belges est de calculer la **différence relative** entre le temps de parcours mis durant des heures de congestion et celui mis pendant des heures creuses. Formellement, cette différence (notée $\Delta T_{\%}$) se présente de la manière suivante :

$$\Delta T_{\%} = \left(\frac{T_{peak\ hours} - T_{off-peak\ hours}}{T_{off-peak\ hours}} \right) \cdot 100$$

L'intérêt de calculer la différence relative $\Delta T_{\%}$ est d'analyser quelle est la quantité de temps de trajet supplémentaire par rapport au temps normal (c'est-à-dire en heures creuses). En d'autres termes, nous voulons savoir quelle est l'augmentation de temps de trajet (par rapport au temps de trajet mis en heures creuses) due à la congestion routière. Ainsi, sur la Carte 24, nous pouvons par exemple observer que, pour rejoindre l'aéroport le plus proche, **les axes Bruxelles-Antwerpen (E 19) et Bruxelles-Leuven (E 40) voient leur temps de trajet doubler pendant les heures de pointe** ; cette augmentation de temps de trajet varie entre 85 et 115 %. En outre, les périphéries d'Antwerpen (à l'est) et de Bruxelles (communes flamandes situées au nord et à l'est de la Région) ont également à déplorer une augmentation de temps de trajet équivalente au double de celui parcouru pendant des heures creuses.

Sur d'autres axes, tels que Bruxelles-Wavre (E 411) ou Bruxelles-Gent (E 40), la congestion routière cause également une augmentation du temps de trajet conséquente par rapport au temps normal (+ 85 à + 90 %). Pour rejoindre les aéroports de Charleroi, d'Ostende ou de Liège, la situation en heure de pointe est tout aussi problématique que celle analysée pour rejoindre l'aéroport de Zaventem, en ce sens que l'augmentation du temps de trajet varie entre 85 et 115 % pour les deux premiers aéroports, et entre 85 et 90 % pour le troisième.

Conceptuellement, on pourrait donc qualifier ce pourcentage de temps additionnel à supporter en voiture comme étant un degré d'« **immobilité** » des personnes vivant dans les communes concernées. En effet, un pourcentage élevé correspond à un temps de parcours beaucoup plus élevé que la normale (qui est, ici, le temps de trajet en heures creuses), et donc à une vitesse de circulation plus faible sur le réseau (d'où le concept d'immobilité).

On notera encore que les communes qui ont été décrites comme celles souffrant des plus fortes pertes de temps (arrondissements de Tournai, Ath, Maaseik, ...) sont aussi celles pour lesquelles la différence relative est souvent la plus faible. En effet, pour des communes éloignées par rapport aux principaux aéroports belges (telles que celles situées dans la région de Tournai, Ath, ou Maaseik), il est normal que le temps additionnel causé par la congestion soit très faible par rapport au temps total de l'itinéraire (calculé en heures creuses). Néanmoins, il existe certaines **exceptions**, notamment à cause de la conjonction entre deux situations :

- Une distance qui est relativement moyenne (environ 40 km) entre la commune considérée et l'aéroport
- Une différence brute (ΔT) qui est élevée

C'est par exemple le cas pour les communes de Wetteren et d'Oosterzele (en Flandre Orientale), pour lesquelles la distance-temps n'est pas suffisamment élevée par rapport à la différence de temps brute ΔT que pour obtenir une faible différence relative $\Delta T\%$.

Enfin, lorsqu'on effectue une **comparaison entre les différentes régions (flamande, bruxelloise et wallonne)**, nous pouvons tout d'abord remarquer que la Wallonie est moins touchée par la congestion que le nord du pays. A part les arrondissements de Charleroi, La Louvière, Mons, Liège et Verviers (ainsi que le nord des arrondissements de Nivelles et Thuin), le reste du territoire wallon n'a pas à déplorer un temps de trajet additionnel significativement plus grand que celui parcouru en heures creuses. Par contre, en Flandres, on relève une différence relative de plus de 65 % sur plus de la moitié du territoire, et de plus de 45 % sur presque tout le territoire. Un « **triangle de congestion** » – dont les sommets sont Antwerpen, Leuven et Gent – peut même être identifié sur la carte. Dans le cas de la Région bruxelloise, le temps de parcours additionnel s'élève à minimum 55 % pour le sud et l'ouest de la Région, alors que ce même pourcentage atteint plus de 66, voire même 85 % pour l'est, le centre, et le nord de la Région.

3.2.6. Analyse de l'accessibilité aux aéroports de Zaventem et de Charleroi

Afin de remédier au premier problème mentionné dans le point 4.2.4. (à savoir, le fait que les terminaux aéroportuaires de Zaventem et de Charleroi sont ceux qui concentrent le plus grand nombre de vols et de destinations, et donc la plus grande part du trafic), nous ne considérerons ici que les **aéroports de Zaventem et de Charleroi**. Autrement dit, chaque déplacement ayant pour origine une ancienne commune i se fera soit vers Zaventem, soit vers Charleroi ; les aéroports de Liège, Antwerpen, et Oostende ne seront donc plus considérés comme destinations dans cette analyse. Notons que, pour des raisons pratiques, les aéroports de Zaventem et de Charleroi seront désignés comme des aéroports « internationaux » dans la suite de cette analyse (notamment afin de distinguer Zaventem et Charleroi des autres aéroports). En outre, l'analyse pourrait tout aussi bien se focaliser sur d'autres aéroports que Zaventem et Charleroi.

Etant donné que la couverture du territoire par les aéroports est moins importante que celle observée auparavant (lorsque les cinq aéroports sont repris), nous observons donc, sur la Carte 25, un plus grand nombre de communes pour lesquelles il faut faire plus de une heure de trajet en **heures creuses** pour rejoindre l'aéroport belge le plus proche. C'est notamment le cas pour un grand nombre de communes situées en province du Luxembourg, en province de Liège, en Flandre Occidentale, et dans le nord de la province du Limbourg. Pour certaines communes (comme celles situées en Communauté Germanophone), il faut parfois même plus d'une heure et demi pour rejoindre un grand aéroport international. Par contre, les communes qui accèdent le plus rapidement aux infrastructures aéroportuaires (c'est-à-dire en deçà des 15 minutes) sont celles situées dans l'arrondissement de Charleroi, dans la partie ouest de l'arrondissement de Leuven, et dans les communes de l'est de la Région bruxelloise et de l'arrondissement de Hal-Vilvoorde.

Durant les **heures de pointe**, une sorte d'« **étai de périphéralité** » se forme autour des aéroports de Charleroi et de Zaventem. En effet, nous pouvons voir sur la Carte 26 qu'il y a un plus grand nombre de communes (en comparaison avec les heures creuses) pour lesquelles il faut plus d'une heure de trajet pour rejoindre Zaventem ou Charleroi⁵⁷. Contrairement à la

⁵⁷ Notons que les résultats cartographiés à la figure 26 ont été classifiés manuellement, de sorte à pouvoir toujours faire une comparaison avec la figure 25.

situation précédente où l'on considérait les cinq aéroports belges, la plupart des communes situées dans les provinces d'Antwerpen, de Liège, du Limbourg et de Flandre Occidentale perdent en accessibilité et passent maintenant au delà de l'isochrone 1h (voire même 1h30 dans le cas de la Flandre Occidentale). Seules les provinces du Brabant Flamand, du Brabant Wallon, de Namur, du Hainaut et d'Antwerpen sont soit partiellement, soit totalement à une distance temporelle qui est inférieure à 1h00 de temps de trajet. Notons que cette réduction d'accessibilité peut également être confirmée par les **graphiques** placés ci-dessous (Figures 8 et 9). Illustrant le nombre d'habitants et d'emplois par intervalle de temps (autour des aéroports de Bruxelles et de Charleroi), ces graphiques montrent la **très forte réduction du nombre d'habitants et d'emplois lorsqu'on passe des heures creuses aux heures de pointe**, notamment pour les quatre premiers intervalles de temps (0-15 ; 15-30 ; 30-45 ; 45-60 minutes) ; par exemple, le nombre d'habitants à 15 minutes de Zaventem et de Charleroi passe de 1.000.000 en heures creuses à 150.000 en heures de pointe (soit une réduction de l'ordre de 75 %). En comparant les deux graphiques, on constate donc une diminution du nombre d'habitants et d'emplois pour les premiers intervalles de temps, et, parallèlement, un **étalement des valeurs** sur les différents intervalles de temps (ce qui signifie que, pendant les heures de pointe, un plus grand nombre d'habitants et d'emplois se retrouvent dans des intervalles de temps plus élevés).

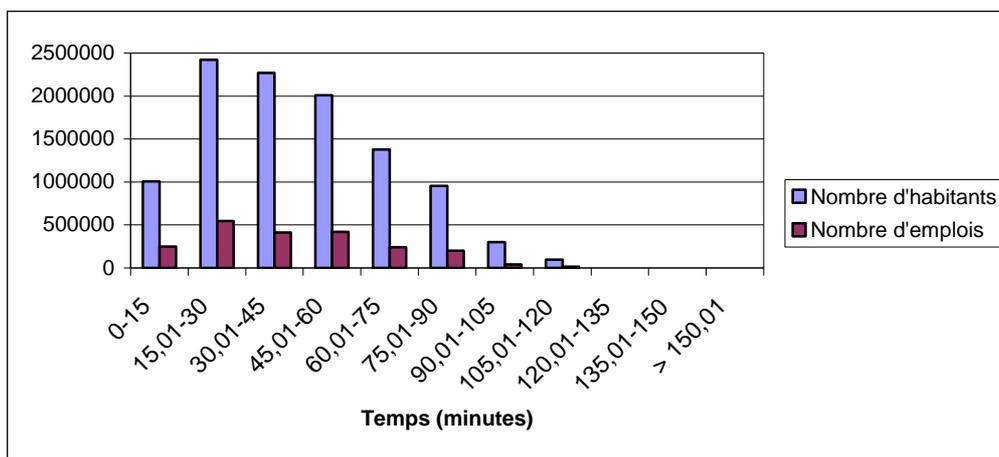


Figure 8 : Heures creuses - Nombre d'habitants et d'emplois par intervalle de temps autour des terminaux de Zaventem et de Charleroi

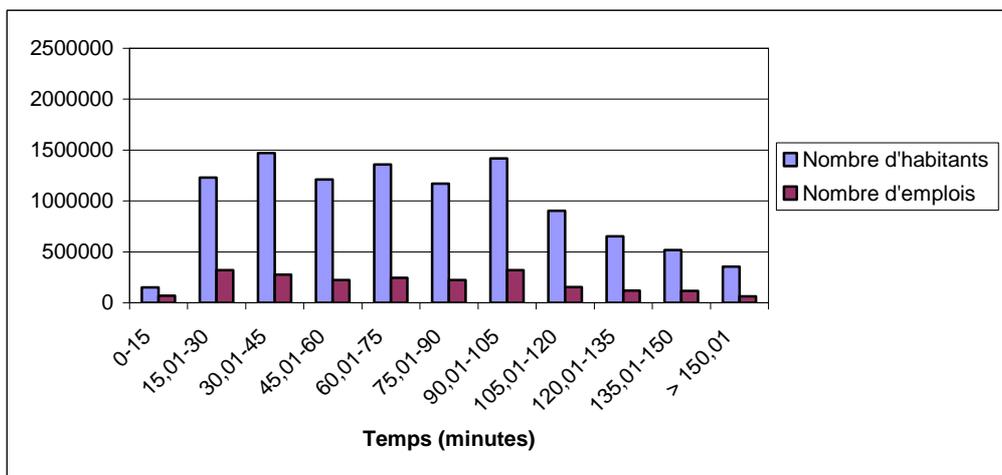


Figure 9 : Heures de pointe – Nombre d'habitants et d'emplois par intervalle de temps autour des terminaux de Zaventem et de Charleroi

Une dernière observation – faite à partir des Cartes 25 et 26 – nous permet de souligner le fait que **l'aire de service de l'aéroport de Charleroi semble un peu plus vaste que celle de Zaventem** (surtout visible sur la Carte 26). Ce résultat peut facilement s'expliquer par le plus fort degré d'urbanisation au nord, ce qui génère une impédance plus grande (à cause des obstacles urbains et du trafic plus dense) et, donc, un temps de parcours nettement plus long que dans le sud du pays. Dans le cas de l'aéroport de Charleroi (Carte 26), on relève aussi une aire de service à direction préférentielle vers le sud. Le type de région (urbaine-rurale) a, en effet, une influence sur la forme de ces aires : par exemple, dans le cas de régions urbaines, des fortes densités, un trafic dense, et de nombreux obstacles urbains présents sur une très grande surface (par exemple, une agglomération) engendreront un temps de parcours plus élevé, et donc une aire de service réduite dans la direction concernée. C'est notamment ce qui se passe dans le cas de l'aéroport de Charleroi, pour lequel le sillon Sambre-Meuse (densément peuplé) engendre une valeur d'impédance élevée, et donc une aire de service réduite dans cette direction. Par contre, au sud de l'aéroport, l'aire de service de l'aéroport peut aisément se profiler grâce à des densités plus faibles.

Lorsqu'on applique une méthode de classification correcte aux données relatives à la situation de congestion (Natural Breaks ; voir Carte 27), nous obtenons plus de détails sur la façon dont le temps de trajet augmente au-delà de 1h30. Nous remarquons ainsi que les communes les plus périphériques par rapport à la localisation des aéroports (Zaventem et Charleroi) sont situées en Flandre Occidentale, en province de Liège, dans la partie nord du Limbourg, et au sud de la province du Luxembourg. En effet, certaines de ces communes sont situées à une distance temporelle de plus de deux heures par rapport au plus proche aéroport international. Et contrairement à ce que certains pourraient penser, le temps nécessaire pour rejoindre le plus proche aéroport international est généralement plus long en partant d'une commune située en Flandre Occidentale qu'en partant d'une petite commune ardennaise. Ce résultat se justifie probablement par le fait que des personnes habitant en Flandre Occidentale rencontreront un **trafic plus dense** sur leur itinéraire (à cause d'une densité de l'habitat élevée) que des personnes habitant en province du Luxembourg (où la densité de l'habitat et le trafic sont moins élevés).

3.2.7. Analyse de la différence de temps de parcours entre la situation de congestion et celle hors-congestion. Les cas de Zaventem et de Charleroi

3.2.7.1. Différence brute entre les deux situations (heures de pointe-heures creuses)

Comme expliqué dans le point 4.2.5.1, nous effectuons ici une **simple différence ΔT** entre le temps de parcours mis pendant des heures de pointe (entre une origine i et une destination j) et celui mis pendant des heures creuses (toujours entre l'origine i et la destination j). Comme précédemment, l'intérêt de ce genre d'analyse sera d'observer quels sont les endroits où les pertes de temps (dues au phénomène de la congestion) sont les plus élevées pour rejoindre un aéroport international.

Ainsi, sur la Carte 28, nous pouvons constater que les pertes de temps les plus élevées se localisent essentiellement dans les deux Flandres (Occidentale et Orientale), dans le Limbourg, et en provinces de Liège et d'Antwerpen. Encore une fois, le fait que ces pertes soient plus élevées en Région flamande s'explique par le plus fort degré d'urbanisation qui caractérise le nord du pays. En outre, les pertes de temps observées pour les communes situées dans l'est de la province de Liège sont très probablement causées par la traversée de

l'agglomération liégeoise (et du sillon Sambre-Meuse dans le cas de Charleroi) pour rejoindre l'aéroport le plus proche.

3.2.7.2. *Différence relative (%) entre les deux situations (heures de pointe-heures creuses)*

Comme précédemment (voir section 4.2.5.2.), nous nous sommes intéressés au calcul de la **différence relative** entre le temps de parcours mis pendant des heures de pointe et celui mis pendant des heures creuses. Sur la Carte 29, nous pouvons observer que la congestion routière pose surtout problème dans le nord du pays. Ainsi, pour rejoindre l'aéroport de Zaventem, les personnes localisées sur l'axe Bruxelles-Antwerpen ou sur celui de Bruxelles-Leuven perdent deux fois plus de temps qu'en heures creuses (85 à 115 % de temps additionnel). De même, les personnes habitant à Gent ou dans l'est de la Région bruxelloise mettent le double du temps normal pour rejoindre l'aéroport de la capitale. La situation est également problématique pour les personnes habitant sur la partie orientale de la Côte ; en effet, celles-ci mettent environ 75 à 85 % de temps en plus pour rejoindre Zaventem. Enfin, toujours dans le nord du pays, les villes de Genk, Turnhout, Tielt, et Tienen sont aussi victimes d'une augmentation du temps de parcours (+ 75 à + 85 %) pendant les heures de pointe.

Dans la partie sud du pays, les problèmes de congestion sont généralement moins importants qu'en Flandre. Toutefois, certaines régions pâtissent d'une réduction d'accessibilité due à l'augmentation du temps de parcours pendant les heures de pointe. Par exemple, l'axe Bruxelles-Wavre voit son temps de parcours augmenter de 85 à 90 %, alors que l'axe Quiévrain-Charleroi subit une augmentation de 65-85 % (voire même de 75-85 % dans le cas de La Louvière et de Mons). En partant de la ville de Charleroi, le temps de parcours pour rejoindre l'aéroport de Charleroi va même jusqu'à doubler (+ 85 à 115 %). Enfin, la région liégeoise souffre également d'une perte d'accessibilité, avec une augmentation du temps de parcours qui varie de 65 à 75 %.

3.2.8. *Analyse d'une aire de service appliquée à l'aéroport de Zaventem*

Ce type de mesure implique l'utilisation d'« **isochrones** » (pour plus de détails, voir première partie du rapport) afin de déterminer les limites précises des lieux accessibles en deçà d'un certain temps t (par exemple, $t = 30$ minutes). Notons que, dans le cadre de cette section, l'analyse faite ici sert simplement d'exemple ou d'illustration afin de montrer au lecteur quelles pourraient être les potentialités tirées de la mise en œuvre de cette mesure et de l'utilisation de la base de données sous-jacente. **Egalement applicable pour d'autres modes de transport** (notamment pour les arrêts de bus, stations de métro, ou gares), la méthode des isochrones permet d'observer quelle est l'étendue spatiale, ou plutôt l'aire de service, d'un ou plusieurs terminaux. Ce type de mesure permet non seulement de faire des analyses spatiales, mais aussi d'aboutir à des analyses statistiques simples, telles que le calcul du nombre d'habitants desservis par un arrêt, ou encore le pourcentage de personnes dans une commune qui sont desservies par un mode de transport particulier (bus, train, tram, métro) (cf. points 8 et 9 de cette partie du rapport).

Sur la Carte 30, les courbes des limites de temps (ou isochrones) ont été obtenues grâce à l'extension « Network Analyst » de ArcGIS 9.1. Ainsi, sur base de la banque de données routières que nous avons créé (dans le point 2), nous avons demandé au logiciel de calculer

des temps de parcours (pour des **heures de pointe**) et de nous construire ce qu'il appelle des « service areas », ou aires de service. Chacune de ces aires est délimitée par des isochrones de 30 et 45 minutes, les valeurs de ces « limites » étant choisies aléatoirement. Ces courbes rassemblent une infinité de points, qui ont pour caractéristique principale de se situer à une même distance temporelle de l'aéroport (30 ou 45 minutes selon l'isochrone). Par un simple remplissage entre chacune des courbes, nous obtenons ainsi une série de « **couronnes** » (ou d'intervalles de temps) autour de l'aéroport.

Suite à l'analyse de la Carte 30, nous observons que la distance temporelle séparant l'aéroport du premier isochrone est de 30 minutes, alors que le deuxième isochrone est de 45 minutes. Pour plusieurs raisons que nous avons déjà citées auparavant (densités et surface bâtie élevées, trafic dense, obstacles urbains, ...), la surface décrite par l'isochrone 0-30 minutes est à la fois plus grande et mieux développée dans l'espace lorsqu'on s'éloigne de la Région de Bruxelles-Capitale. Alors qu'il s'arrête à Mechelen, à Leuven et à la frontière linguistique, l'isochrone n'inclut que le centre, le nord, et l'est de la Région bruxelloise malgré un réseau très dense. Le reste de la Région n'atteint Zaventem que dans un délai de 45 minutes (voire même un peu plus dans le cas de la partie ouest de la commune d'Anderlecht).

Concernant la deuxième couronne (30-45 minutes), on remarquera aussi un allongement de celle-ci selon certaines **directions préférentielles**, correspondant généralement au tracé des voies rapides (telles que des nationales). Moyennant la présence de bretelles (afin de rendre possible une interface entre les voies rapides et la population), les autoroutes repoussent également les limites des couronnes dans certaines directions. C'est notamment le cas vers Tienen, Aarschot, Kontich, Asse, Willebroek, Genappe et Louvain-la-Neuve. Enfin, la présence d'un « îlot » d'accessibilité moindre – par rapport à l'environnement direct – est visible près de Kapelle-op-den-Bos (à l'ouest de Mechelen). Une voie rapide reliant les deux axes nord-sud (Bruxelles-Antwerpen) permet de rendre plus accessible la zone qui est située au nord de l'îlot (d'où la création de l'îlot).

Notons finalement qu'un inconvénient majeur de cette méthode est la **perte d'informations** induite par le passage d'un isochrone à l'autre. En effet, nous ne disposons pas d'informations sur les points se trouvant entre chacun des isochrones. Nous savons juste que le temps de parcours nécessaire pour rejoindre l'aéroport varie entre 0 et 30 minutes pour la première couronne, et entre 30 et 45 minutes pour la deuxième. Au delà, le temps de parcours est supérieur à 45 minutes.

3.2.9. Construction d'aires basées sur une minimisation du temps de pavers les aéroports

Sur base des résultats de temps de parcours obtenus pour les heures creuses et les heures de pointe, il est possible de construire des cartes reprenant les aires de service des aéroports **en supposant que** ceux-ci disposent de la même attractivité (par exemple, nombre de destinations, prix du voyage, ...) ⁵⁸. Or, chaque aéroport ne dispose de la même attractivité, c'est pourquoi nous avons préféré le terme d'« aire » à celui d'« aire de service ». Afin de construire ces aires, nous nous basons sur un principe d'**affectation des communes à**

⁵⁸ Idéalement, il faudrait utiliser une probabilité de se déplacer vers l'aéroport j considéré pour obtenir une meilleure délimitation des aires de service. Cette probabilité serait alors fonction du nombre de destinations, du prix des compagnies qui sont présentes dans l'aéroport, des disponibilités en parking ou de l'accessibilité par chemin de fer, ...

l'aéroport le plus proche. Plus concrètement, les habitants d'une commune *i* se rendront donc à l'aéroport pour lequel le temps de trajet est le plus court. Le but n'étant pas d'identifier le nombre d'habitants qui pourraient se rendre à chaque aéroport, la méthode employée ici servira donc d'illustration de ce qui est applicable pour d'autres modes de transport et montrera le potentiel de chaque aéroport (en nombre de voyageurs) dans le cas où l'attractivité de chacun serait la même. En outre, elle servira surtout à mettre en évidence l'effet de la congestion sur le choix entre les différents terminaux aéroportuaires.

En heures creuses et lorsque tous les aéroports belges sont considérés (voir Carte 31), on remarque que, pour une même valeur d'attractivité, les aéroports wallons sont ceux qui disposent des aires les plus vastes en termes de surface. L'aéroport de Charleroi dessert ainsi une très large partie des provinces du Hainaut, de Namur, et du Brabant Wallon. L'aéroport de Liège, quant à lui, dessert toute la partie orientale du pays (provinces du Limbourg, du Luxembourg et de Liège, ainsi que certaines communes situées en province de Namur et dans les deux Brabant). Par rapport aux autres terminaux aéroportuaires, le **potentiel** de Liège est donc très important puisque, en cas d'accroissement du nombre de destinations et de vols, une reconversion des clients s'observerait probablement vers l'aéroport liégeois.

Toujours en heures creuses, les trois autres aéroports belges (Antwerpen, Oostende, et Bruxelles) disposent d'aires moins vastes que les aéroports wallons. Cette constatation s'explique très simplement par la localisation relative des aéroports sur le territoire belge. Bien que ces aires soient relativement petites par rapport à Charleroi et Liège, le nombre d'habitants qui s'y trouvent est, par contre, très élevé (voir tableau 1)⁵⁹. A titre d'exemple, l'aire de Bruxelles compte plus de 2.737.000 habitants, alors que celles de Charleroi et Liège ne comptent que 1.750.000 et 2.128.000 habitants respectivement.

Tous les aéroports belges - Nombre d'habitants par "aire"					
	Heures creuses	Heures de pointe	Gains / Pertes	Gains / Pertes (% heures creuses)	Gains / Pertes (% population belge)
BRU	2.736.664	2.533.505	-203.159	-7,42	-1,95
CRL	1.750.094	1.883.970	+133.876	+7,65	+1,28
OST	1.535.963	1.585.135	+49.172	+3,20	+0,47
ANT	2.284.334	2.197.899	-86.435	-3,78	-0,83
LIE	2.128.156	2.234.702	+106.546	+5,01	+1,02

Tableau 8 : Nombre potentiel d'habitants par aéroport – Comparaison entre les deux périodes de temps (heures creuses et heures de pointe)

En période de congestion (voir Carte 32), les aires sont quelque peu modifiées suite aux différences spatiales qui existent en termes de congestion routière. De manière globale, ce sont les aires des aéroports de Bruxelles et Antwerpen qui souffrent le plus de la réduction d'accessibilité (causée par la congestion), alors que les aéroports wallons (ainsi que celui d'Oostende) tirent profit de cette situation et gagnent en clientèle. Le tableau ci-dessous (Tableau 2) confirme ces résultats et montre que, comparativement aux heures creuses, les aéroports de Bruxelles et d'Antwerpen perdent 203.000 et 86.000 habitants respectivement (soit une baisse du nombre d'habitants de 7,42 et 3,78 % par rapport aux heures creuses). Ces derniers sont alors affectés au profit des trois autres aéroports, qui bénéficient ainsi d'une

⁵⁹ Le tableau a pu être construit grâce à des calculs annexes faits dans ArcMap. Les SIG sont, en effet, utiles pour relier certains jeux de données (population) avec des données spatiales ; ainsi, les traitements qui ont été faits pour construire le tableau découlent de ce lien entre les données et l'espace.

augmentation du nombre de clients potentiels. De manière indirecte, la congestion profite donc à la compétitivité de l'aéroport d'Oostende et des aéroports wallons. Notons que la hausse la plus forte est enregistrée pour l'aéroport de Charleroi (+ 134.000 habitants).

Aéroports de Bruxelles et Charleroi - Nombre d'habitants par "aire"					
	<i>Heures creuses</i>	<i>Heures de pointe</i>	<i>Gains / Pertes</i>	<i>Gains / Pertes (% heures creuses)</i>	<i>Gains / Pertes (% population belge)</i>
BRU	8.197.790	7.877.692	-320.098	-3,90	-3,07
CRL	2.237.421	2.557.519	+320.098	+14,31	+3,07

Tableau 9 : Nombre potentiel d'habitants par aéroport (Zaventem et Charleroi, uniquement) – Comparaison entre les deux périodes de temps (heures creuses et heures de pointe)

Enfin, le même type d'analyse a été fait pour les **aéroports de Charleroi et Bruxelles**, pris séparément des autres aéroports. Puisque ces deux terminaux concentrent la majeure partie du trafic voyageurs en Belgique, il semble donc intéressant d'étudier l'évolution de leurs aires respectives lorsqu'on passe des heures creuses aux heures de pointe. Dans le premier cas (**heures creuses**), la Carte 33 montre que l'aire affectée à l'aéroport de Bruxelles est légèrement plus grande que celle affectée à Charleroi. A partir de quelques calculs annexes effectués dans ArcMap (voir tableau ci-dessous), on constate aussi que l'aéroport de Bruxelles concentre près de 8,2 millions de belges vers ses infrastructures⁶⁰, alors que celui de Charleroi n'en concentre que 2,2 millions. Lorsqu'on exclut les autres aéroports belges de l'analyse, on remarque donc que la différence de potentiel (quant au nombre d'habitants) est énorme.

Pendant les **heures de pointe**, la différence entre les deux aéroports est toujours très grande, mais l'aire affectée à l'aéroport de Charleroi devient plus vaste que celle de Bruxelles. En effet, on remarque sur la Carte 34 que la congestion entraîne un changement d'affectation de certaines communes de l'aéroport de Bruxelles vers celui de Charleroi ; ce changement s'observe surtout dans la province de Liège, mais aussi dans le Brabant Wallon. De plus, l'aéroport de Charleroi gagne une clientèle potentielle de plus de 320.000 personnes (soit un gain de 14,31 % par rapport à la clientèle en heures creuses), alors que, simultanément, l'aéroport bruxellois perd exactement le même nombre de clients (soit une perte de 3,9 %). Indirectement, la congestion routière est donc profitable à l'aéroport de Charleroi ; celui-ci bénéficie de la reconversion de certains clients qui, sans congestion routière, iraient normalement vers l'aéroport de Bruxelles.

Notons encore que, à cause de la congestion, certaines communes de la région urbaine de Bruxelles sont affectées à l'aéroport de Charleroi. C'est par exemple le cas pour des communes comme Ottignies-Louvain-la-Neuve ou Lasne, mais aussi pour Waterloo et Braine-l'Alleud. En heure de pointe, même des communes parfois très proches de Bruxelles peuvent donc être affectées à l'aéroport de Charleroi.

3.3. Critique des résultats

Les **avantages** qui se rapportent à cette analyse sont, pour la plupart, semblables à ceux évoqués dans le point 2. Toutefois, d'autres éléments peuvent être ajoutés :

⁶⁰ Grâce à une densité de population nettement plus élevée au nord du pays qu'au sud.

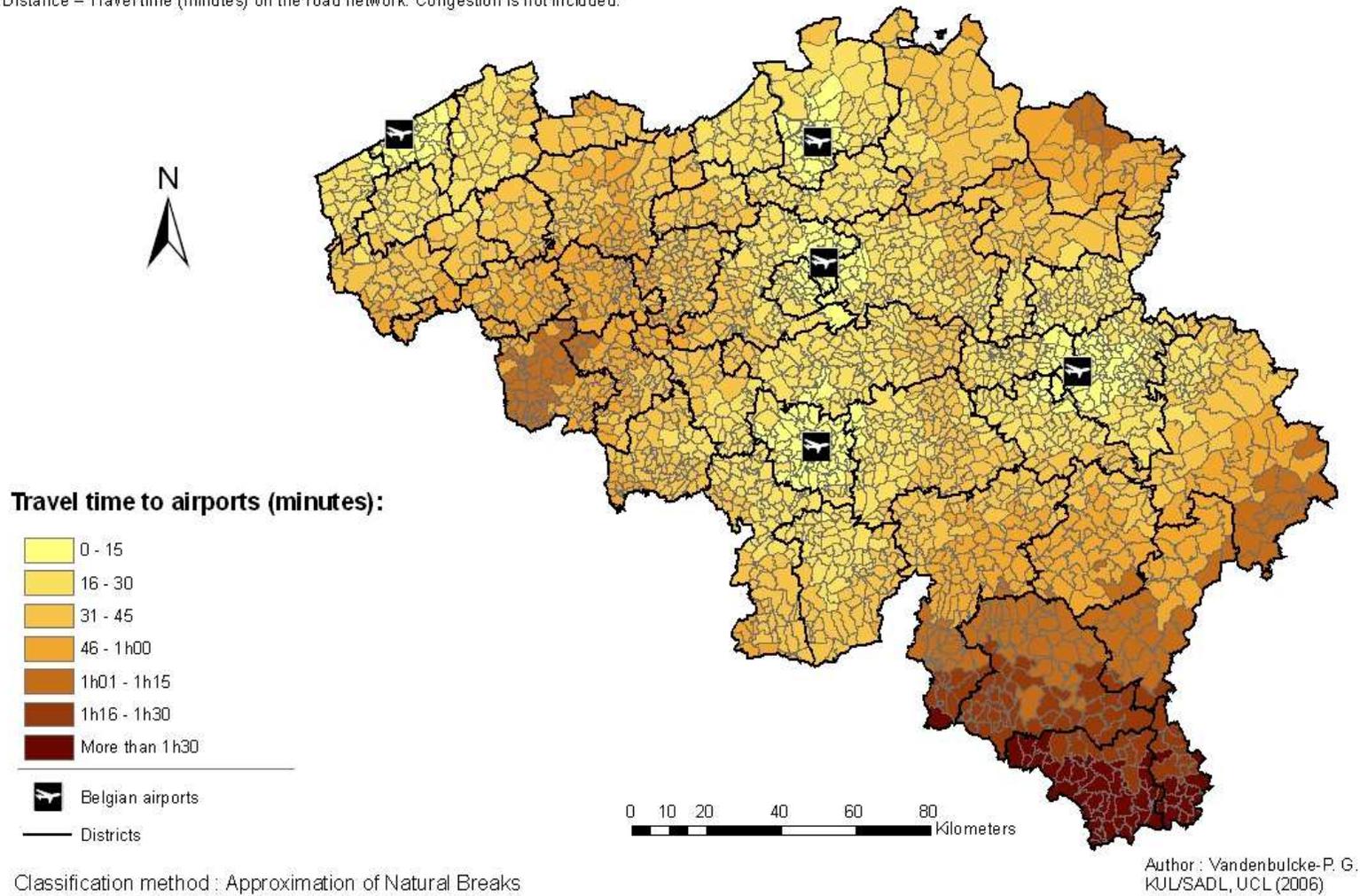
- i. Même si le **calcul du temps de parcours en heures de pointe** n'est pas basé sur des données empiriques, la fonction que nous avons utilisée pour intégrer la congestion dans les calculs est relativement simple à appliquer et semble très bien refléter la réalité.
- ii. Les **mesures comparatives** entre les deux situations heures creuses-heures de pointe permettent de localiser les communes où l'effet de la congestion se fait le plus sentir au niveau de leur accessibilité vers les aéroports belges.

Ajoutons cependant que :

- i. La mesure de la congestion routière est très **ponctuelle** dans le temps, c'est-à-dire qu'elle ne correspond à un état de la route à un moment bien précis de la journée. En outre, faute de données fiables et à cause de certaines contraintes techniques et temporelles, le temps de parcours mis pendant des heures de pointe n'a malheureusement pas pu être calibré sur des données empiriques.
- ii. Le fait que nous ne considérons pas les **aéroports étrangers** (tels qu'Eindhoven, Maastricht, ou Luxembourg) rend certaines communes plus périphériques qu'elles ne le sont réellement.
- iii. La méthode basée sur la construction d'aires de service ne permet pas d'avoir une information détaillée sur les points qui se trouvent entre chaque isochrone. Ce type de mesure entraîne donc une **perte d'informations**.
- iv. Le **temps d'attente** dans chaque terminal aéroportuaire n'est pas considéré dans nos mesures d'accessibilité. Une perspective intéressante serait donc d'intégrer les temps d'attente propres à chaque aéroport avant l'embarquement. Par exemple, la différence de temps d'attente entre Bruxelles et Charleroi varie de 15 à 30 minutes. Intégrer cette composante d'attente dans la mesure de l'accessibilité aux aéroports pourrait ainsi produire une toute autre image de l'accessibilité en comparaison avec ce que nous avons obtenu ci-dessus.
- v. L'**attractivité des aéroports** devrait également entrer en ligne de compte dans les calculs. Idéalement, il faudrait donc utiliser une probabilité de se déplacer vers l'aéroport j pour obtenir une bonne représentation des aires de service. Cette probabilité serait alors fonction du nombre de destinations, du prix et de la variété des compagnies qui sont présentes dans l'aéroport, des disponibilités en parking ou de l'accessibilité ferroviaire de l'aéroport, etc.

Distance* to the closest airport (congestion not included)

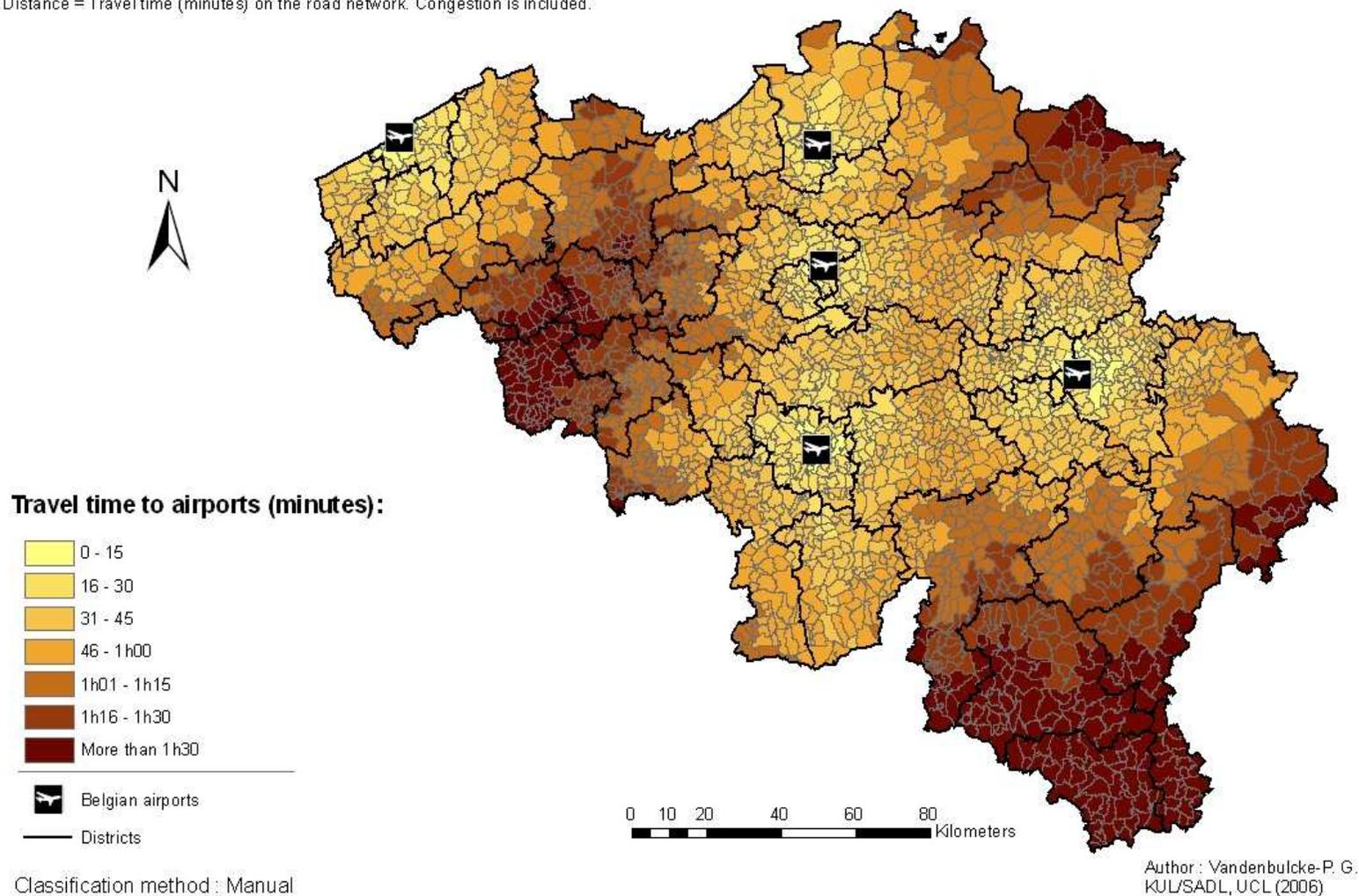
*Distance = Travel time (minutes) on the road network. Congestion is not included.



Carte 21 : Temps de parcours à l'aéroport le plus proche, pendant les heures creuses

Distance* to the closest airport (congestion included)

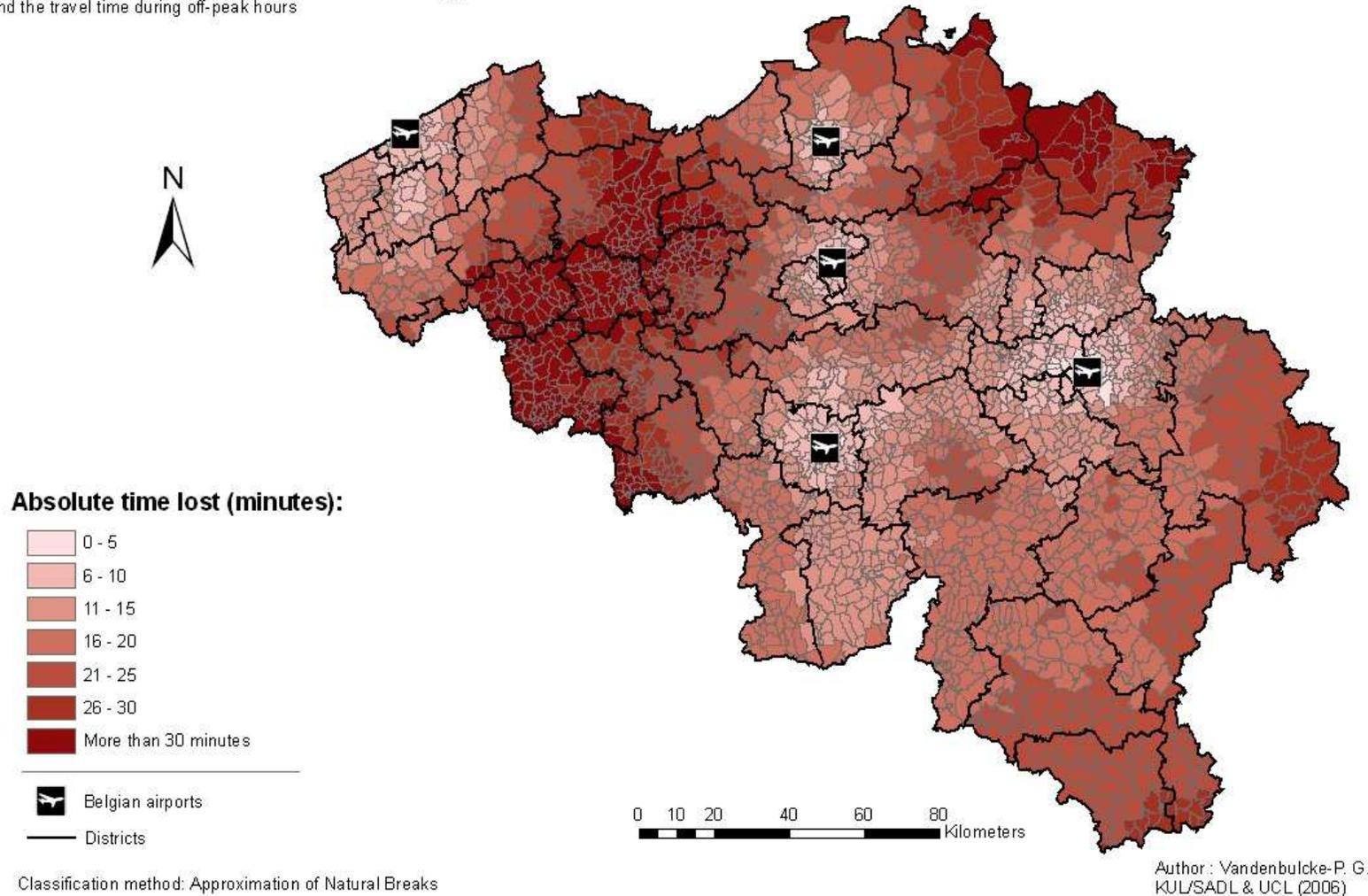
*Distance = Travel time (minutes) on the road network. Congestion is included.



Carte 22 : Temps de parcours à l'aéroport le plus proche, pendant les heures de pointe

Absolute time lost* due to congestion going to the closest airport

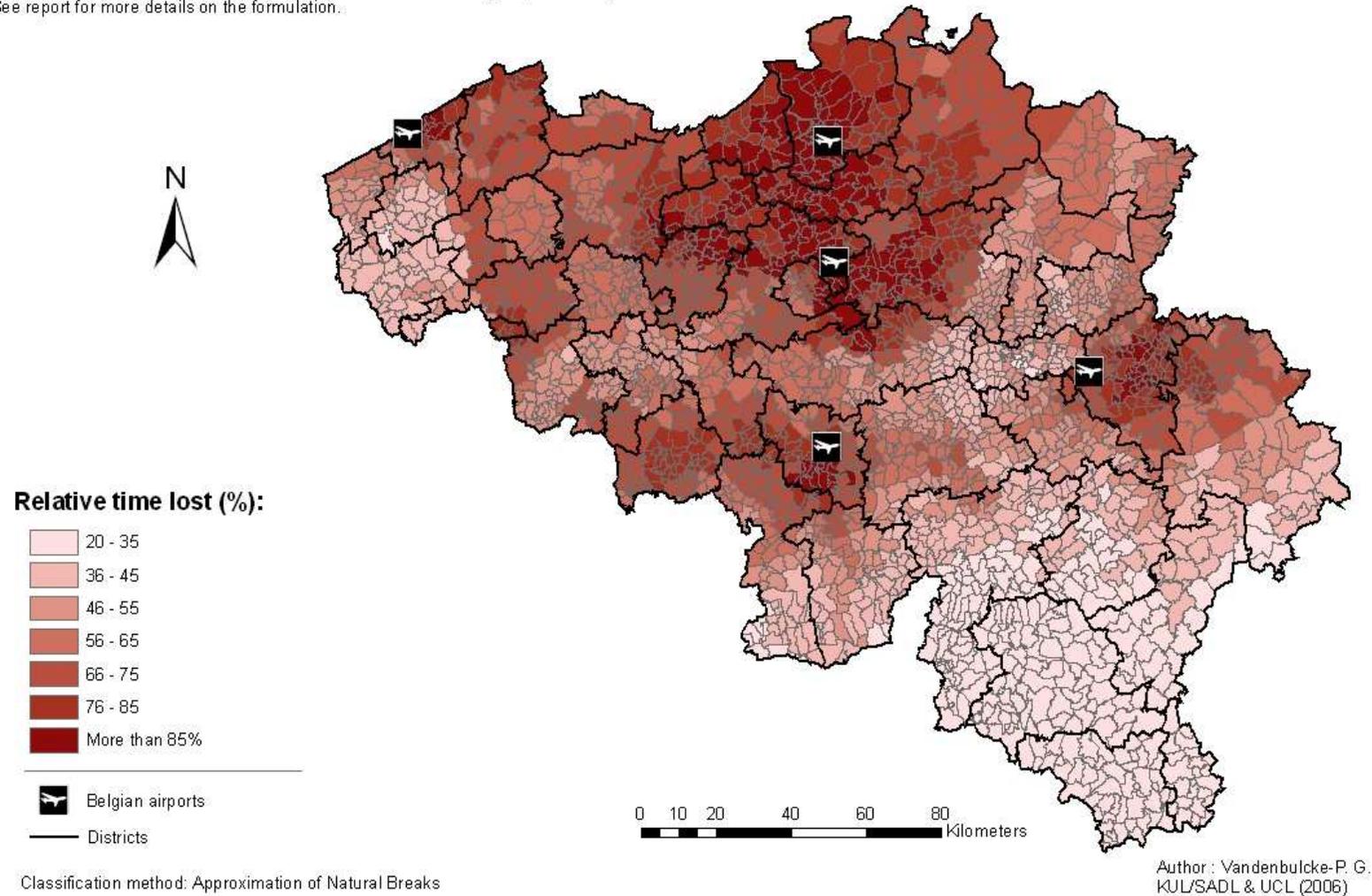
* Absolute time lost: difference between the travel time during peak hours and the travel time during off-peak hours



Carte 23 : Différence absolue entre les heures de pointe et les heures creuses

Relative time lost* due to congestion going to the closest airport

*Relative time lost: expressed in % (index 100 = travel time during off-peak hours).
See report for more details on the formulation.

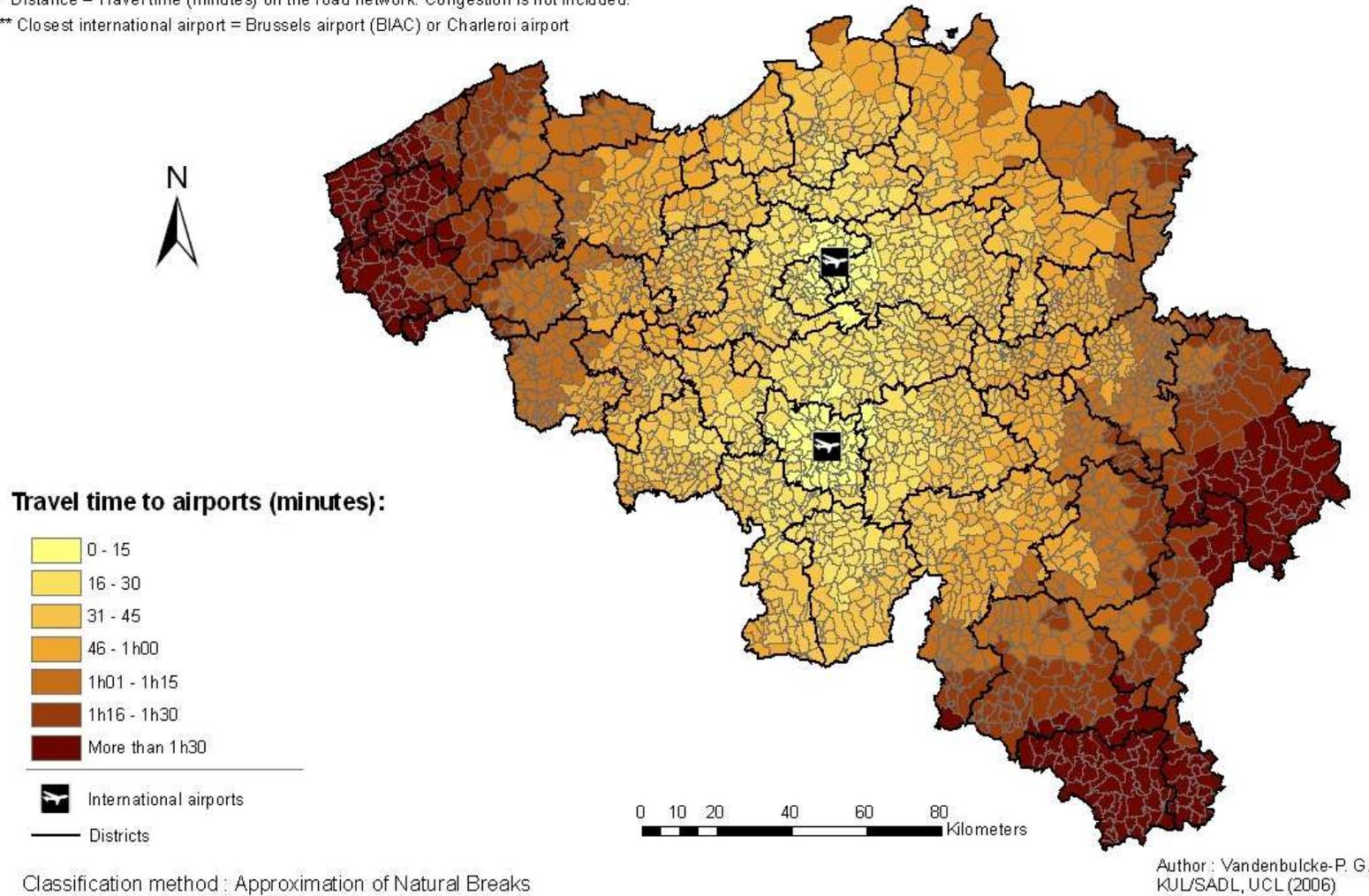


Carte 24 : Différence relative (%) entre les heures de pointe et les heures creuses

Distance* to the closest international airport** (congestion not included)

* Distance = Travel time (minutes) on the road network. Congestion is not included.

** Closest international airport = Brussels airport (BIAC) or Charleroi airport



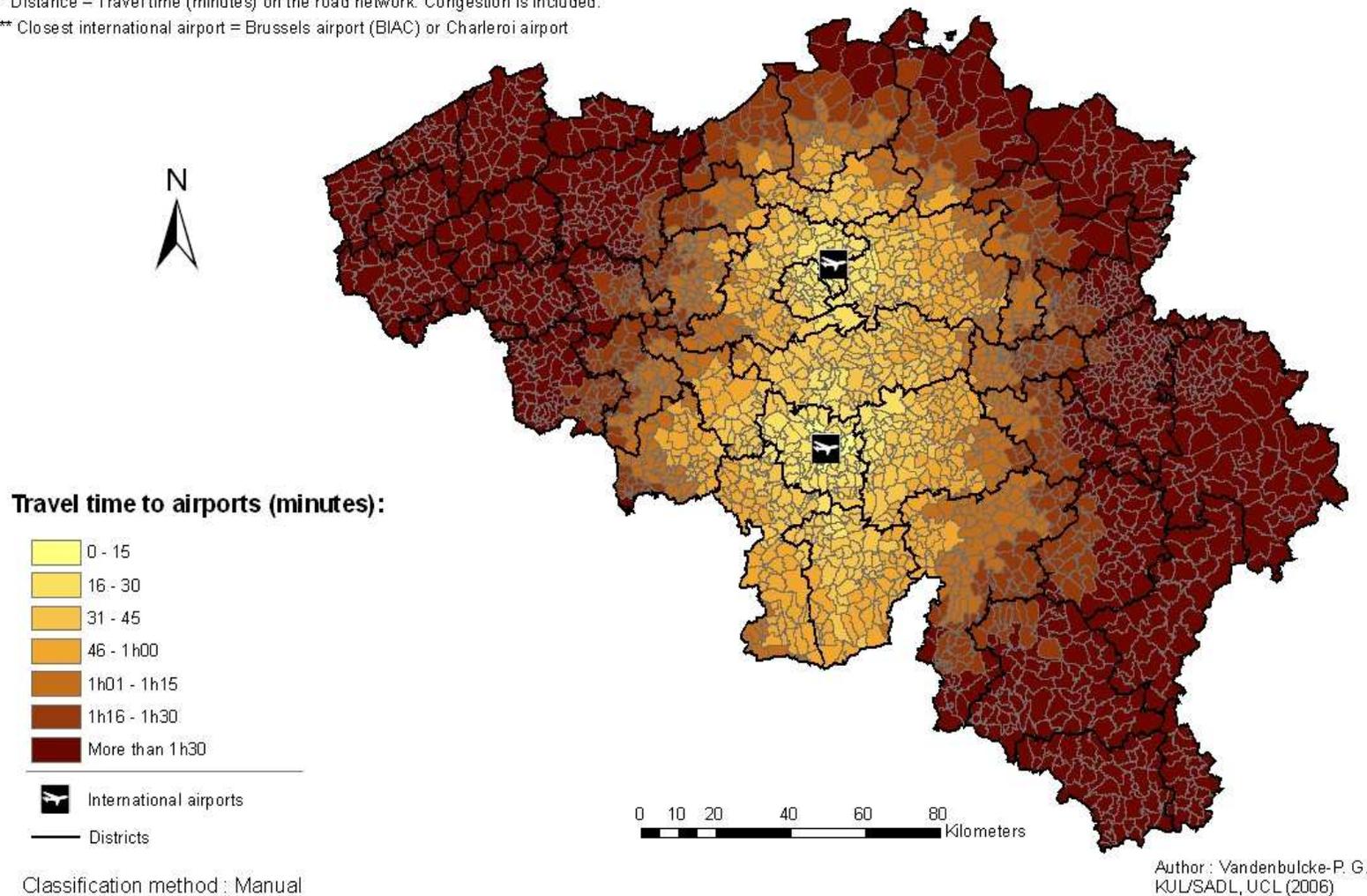
Classification method : Approximation of Natural Breaks

Carte 25 : Aéroports de Zaventem et de Charleroi – Temps de parcours à l'aéroport le plus proche, pendant les heures creuses

Distance* to the closest international airport** (congestion included)

* Distance = Travel time (minutes) on the road network. Congestion is included.

** Closest international airport = Brussels airport (BIAC) or Charleroi airport

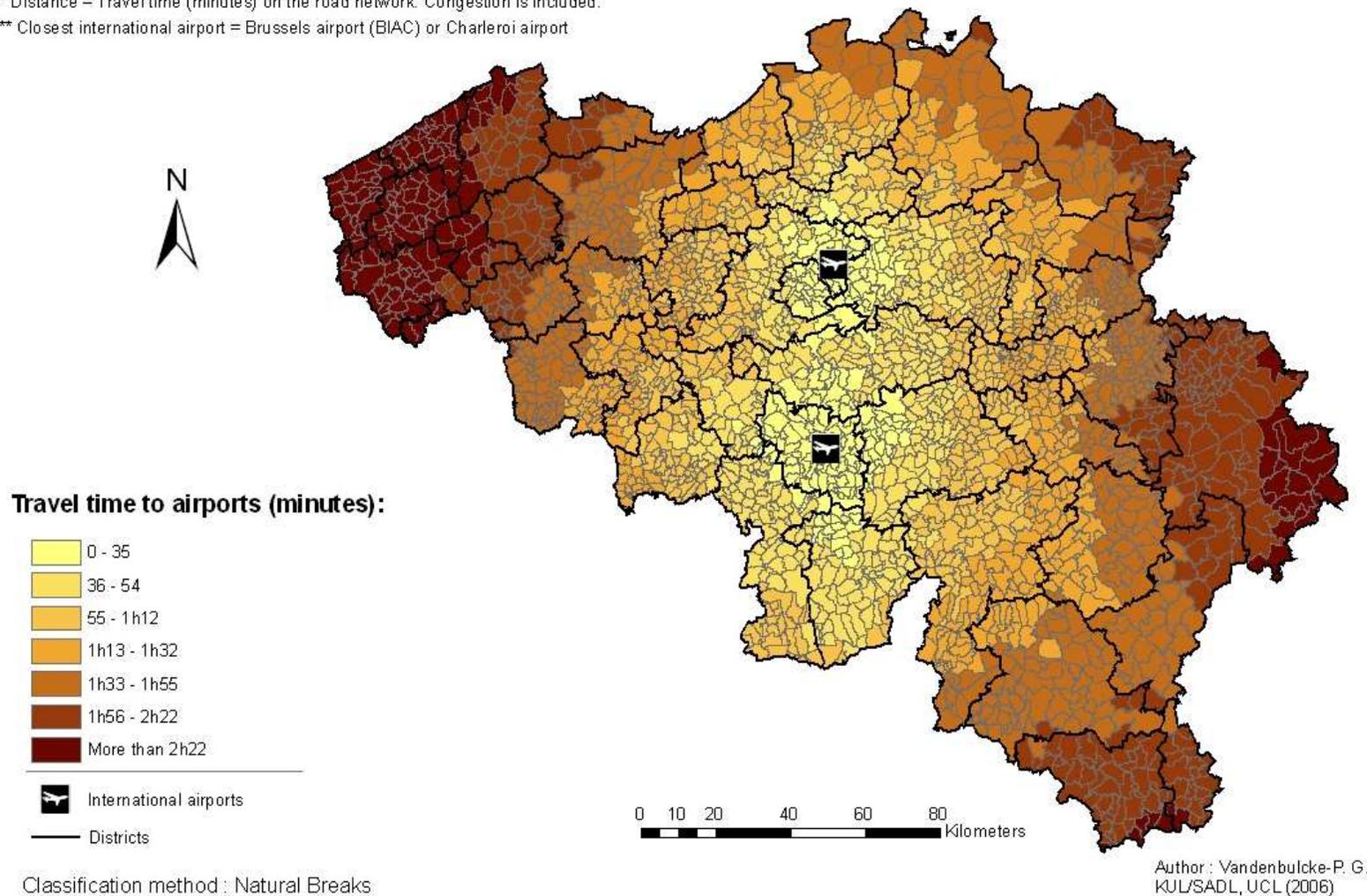


Carte 26 : Aéroports de Zaventem et de Charleroi – Temps de parcours à l'aéroport le plus proche, pendant les heures de pointe (Classification manuelle)

Distance* to the closest international airport** (congestion included)

* Distance = Travel time (minutes) on the road network. Congestion is included.

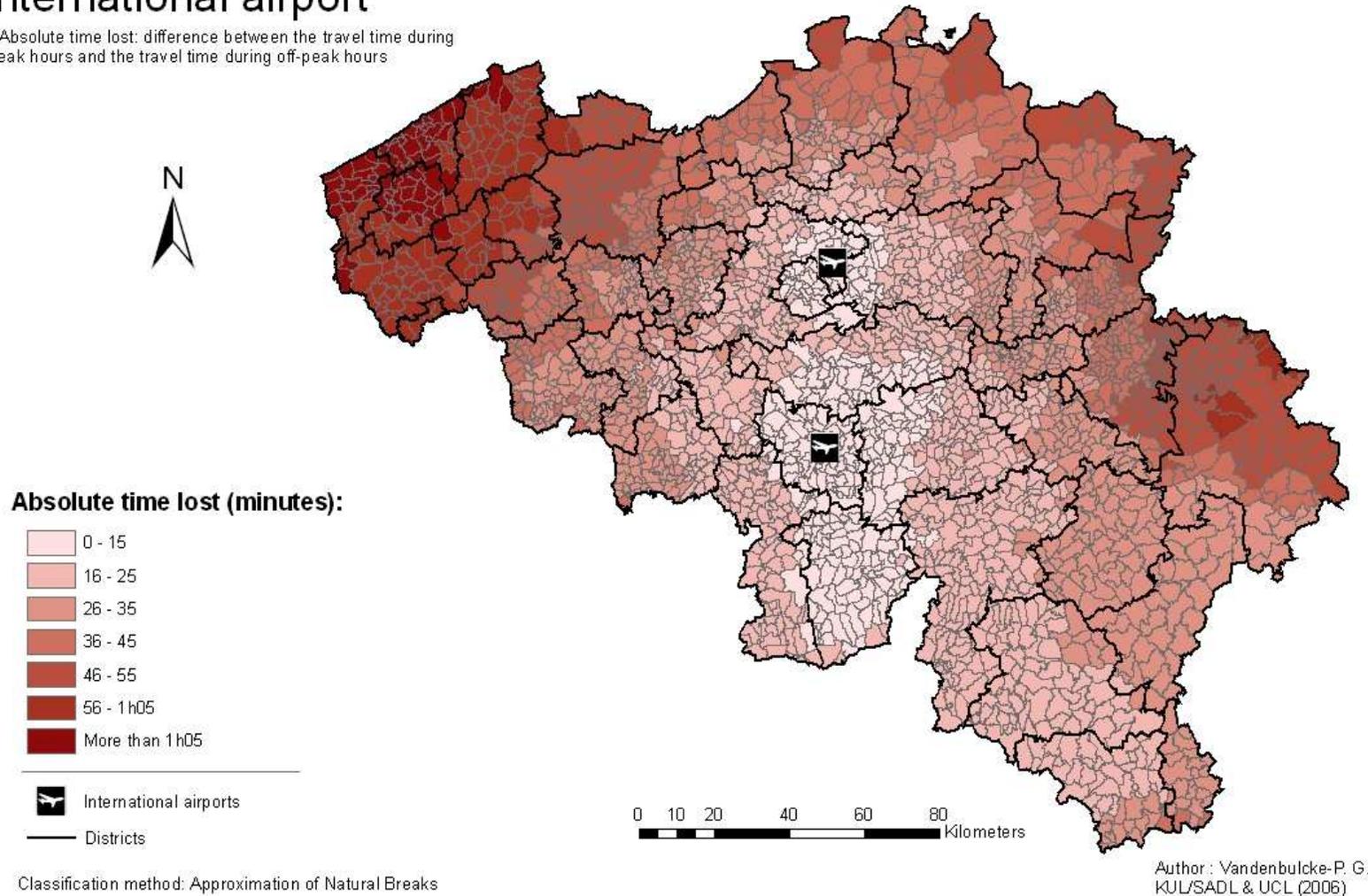
** Closest international airport = Brussels airport (BIAC) or Charleroi airport



Carte 27 : Aéroports de Zaventem et de Charleroi – Temps de parcours à l’aéroport le plus proche, pendant les heures de pointe (Natural Breaks)

Absolute time lost* due to congestion going to the closest international airport

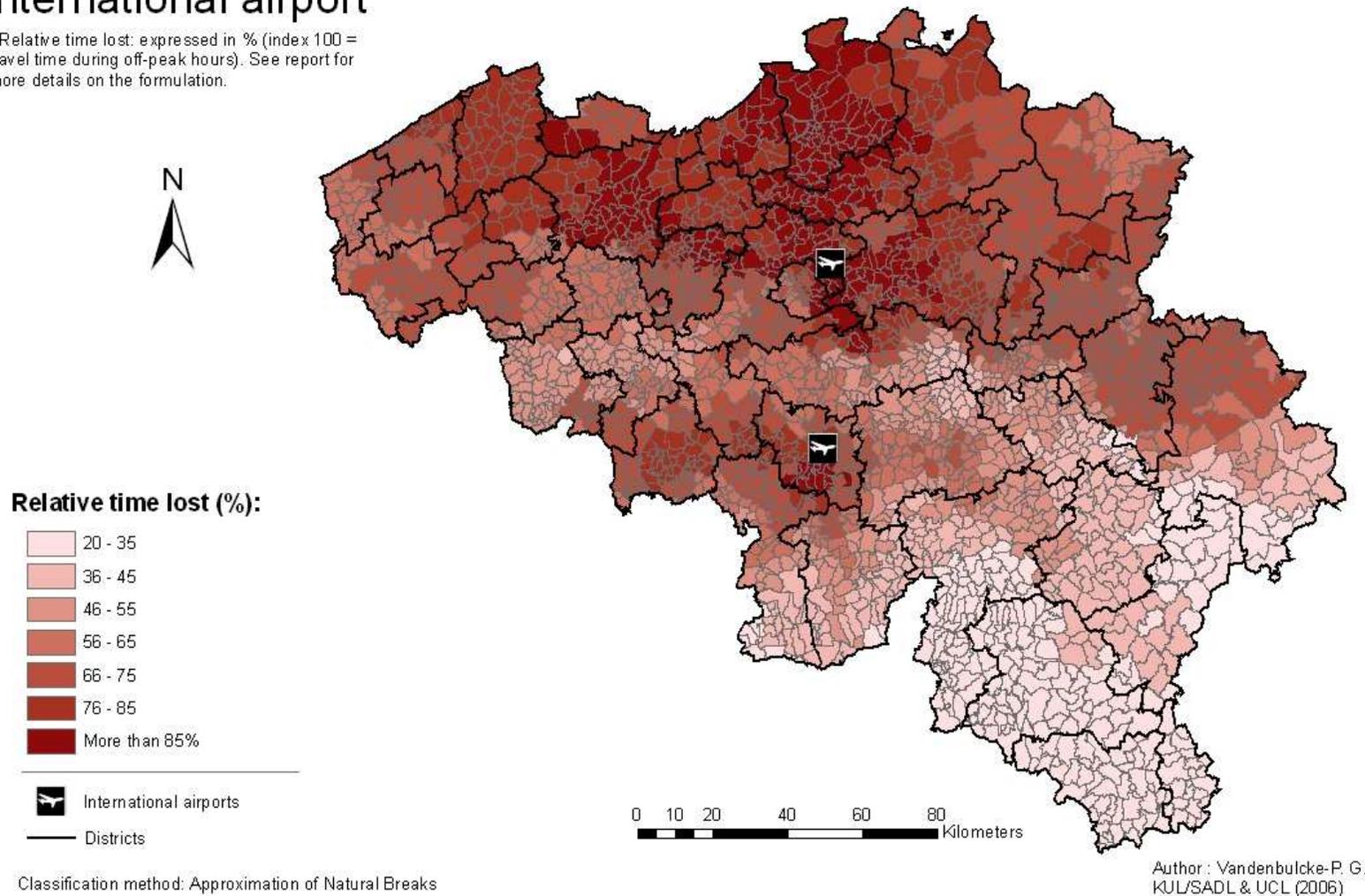
* Absolute time lost: difference between the travel time during peak hours and the travel time during off-peak hours



Carte 28 : Aéroports de Zaventem et de Charleroi – Différence absolue entre les heures de pointe et les heures creuses

Relative time lost* due to congestion going to the closest international airport

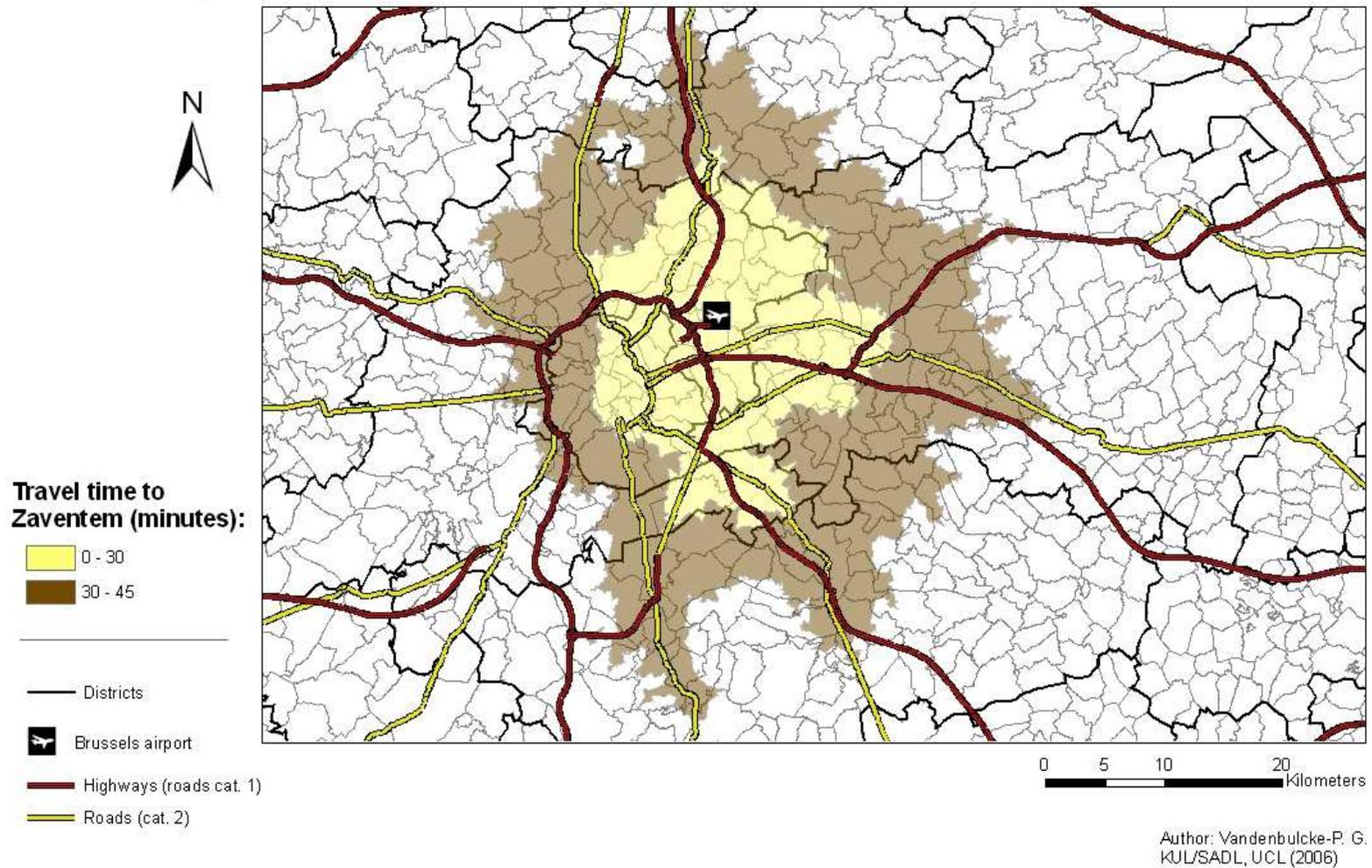
* Relative time lost: expressed in % (index 100 = travel time during off-peak hours). See report for more details on the formulation.



Carte 29 : Aéroports de Zaventem et de Charleroi – Différence relative (%) entre les heures de pointe et les heures creuses

Distance* to Brussels Airport (congestion included)

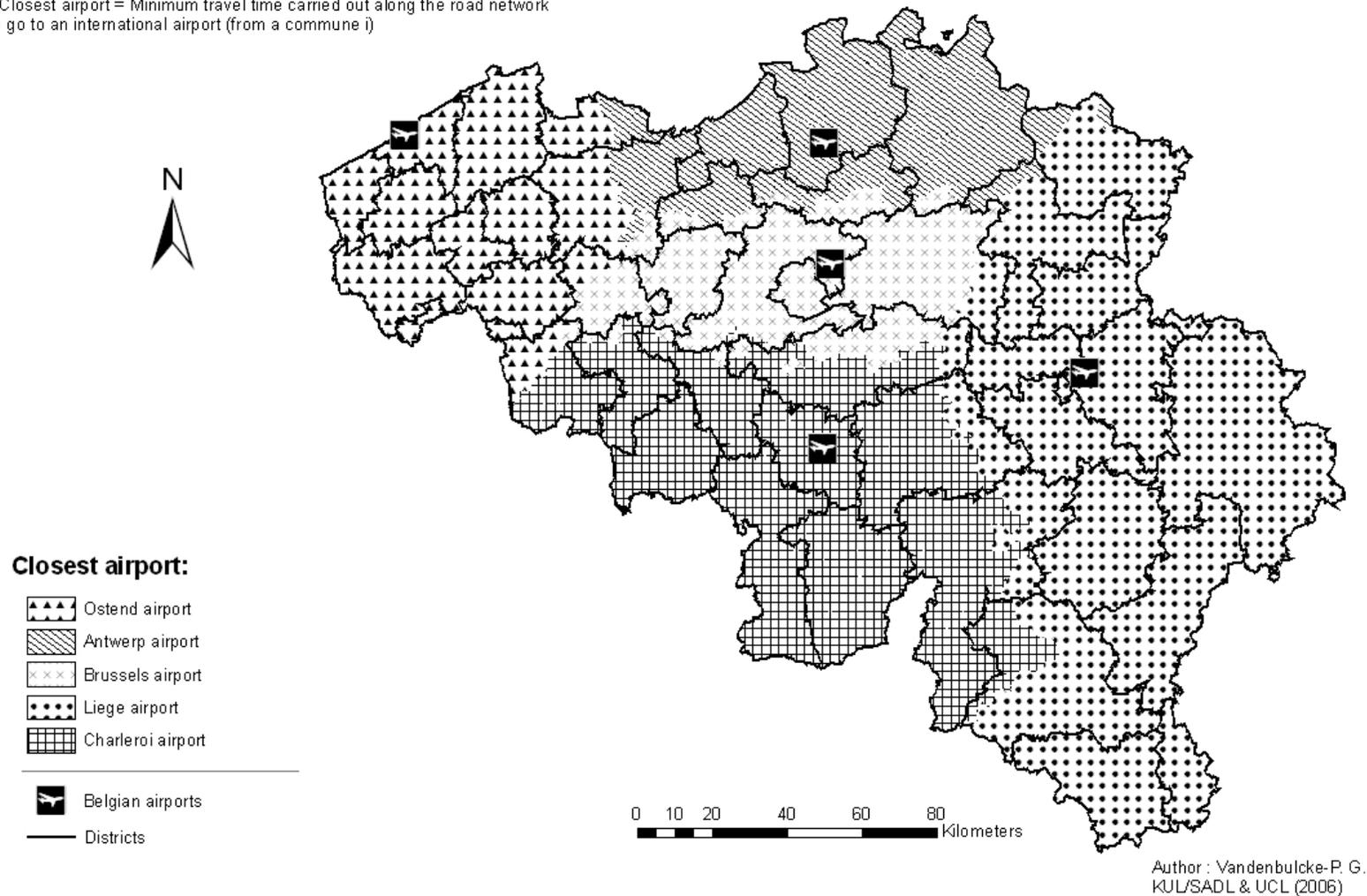
*Distance = Travel time (minutes) on the road network. Congestion is included.



Carte 30 : Isochrones et buffers – Temps de parcours à l'aéroport de Zaventem, pendant les heures de pointe.

Closest airport* during off-peak hours

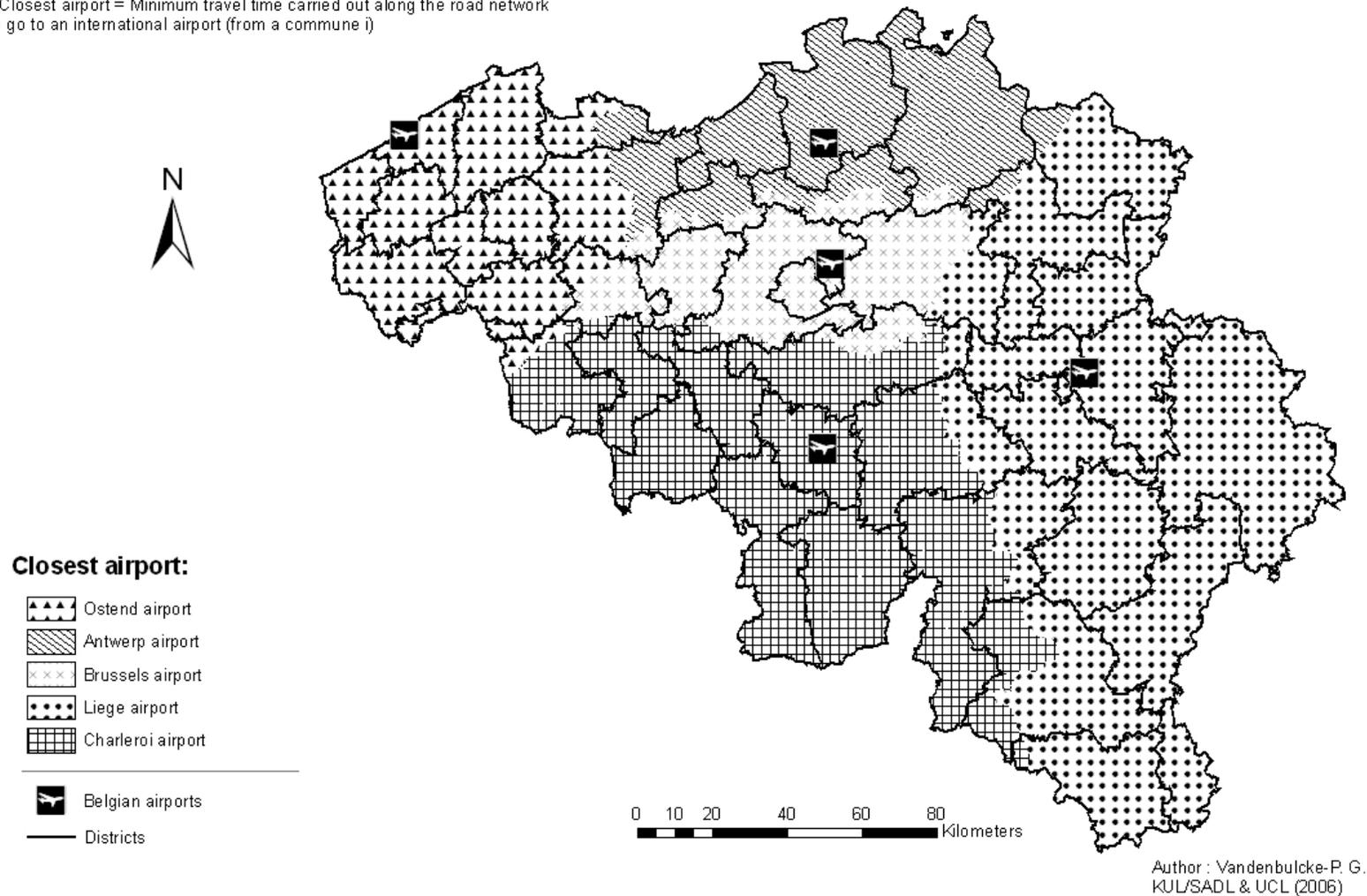
* Closest airport = Minimum travel time carried out along the road network to go to an international airport (from a commune i)



Carte 31 : Aires de service des aéroports belges – Aéroport le plus proche, pendant les heures creuses

Closest airport* during peak hours

* Closest airport = Minimum travel time carried out along the road network to go to an international airport (from a commune i)

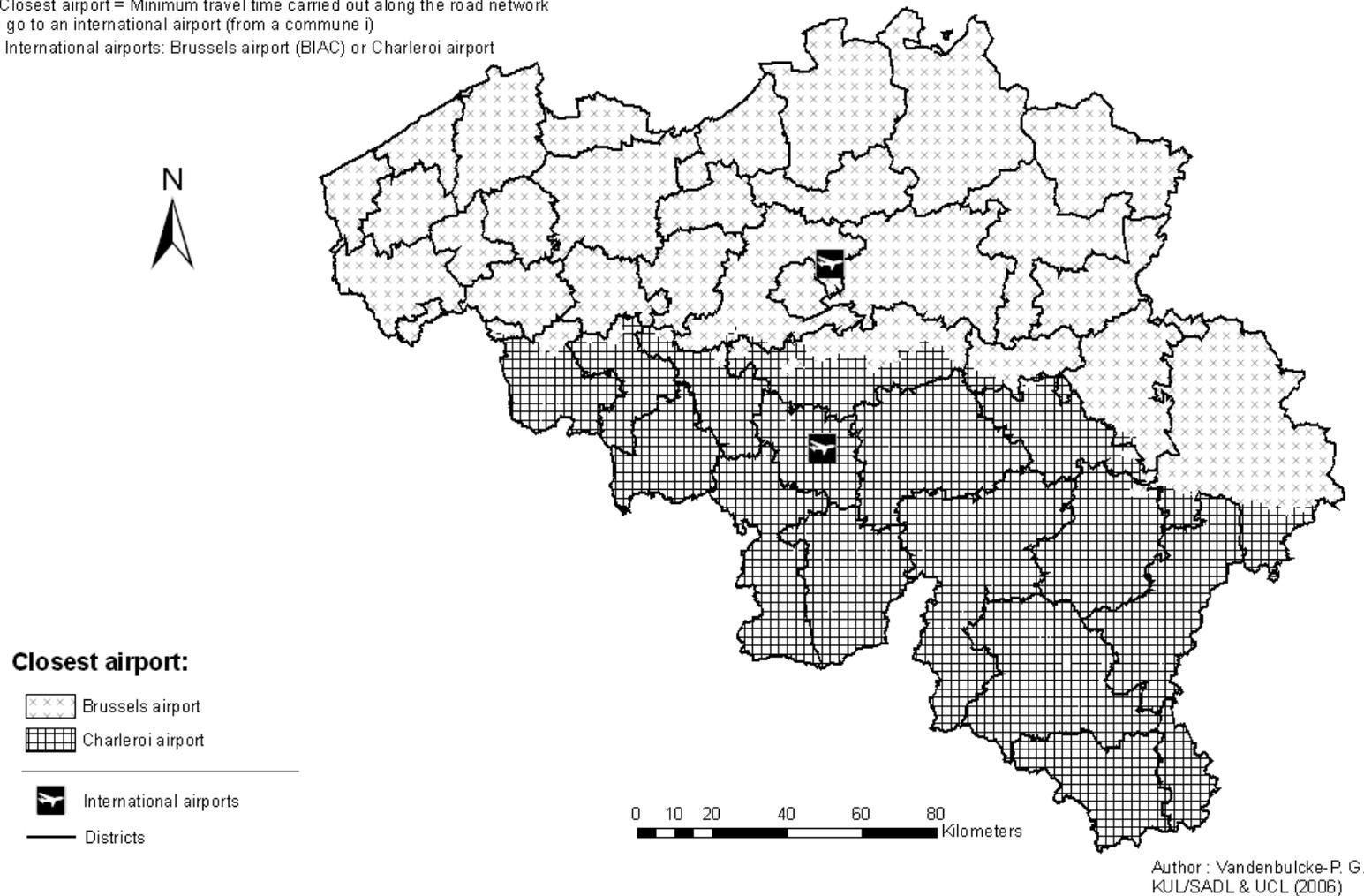


Carte 32 : Aires de service des aéroports belges – Aéroport le plus proche, pendant les heures de pointe

Closest* international airport** during off-peak hours

* Closest airport = Minimum travel time carried out along the road network to go to an international airport (from a commune i)

** International airports: Brussels airport (BIAC) or Charleroi airport

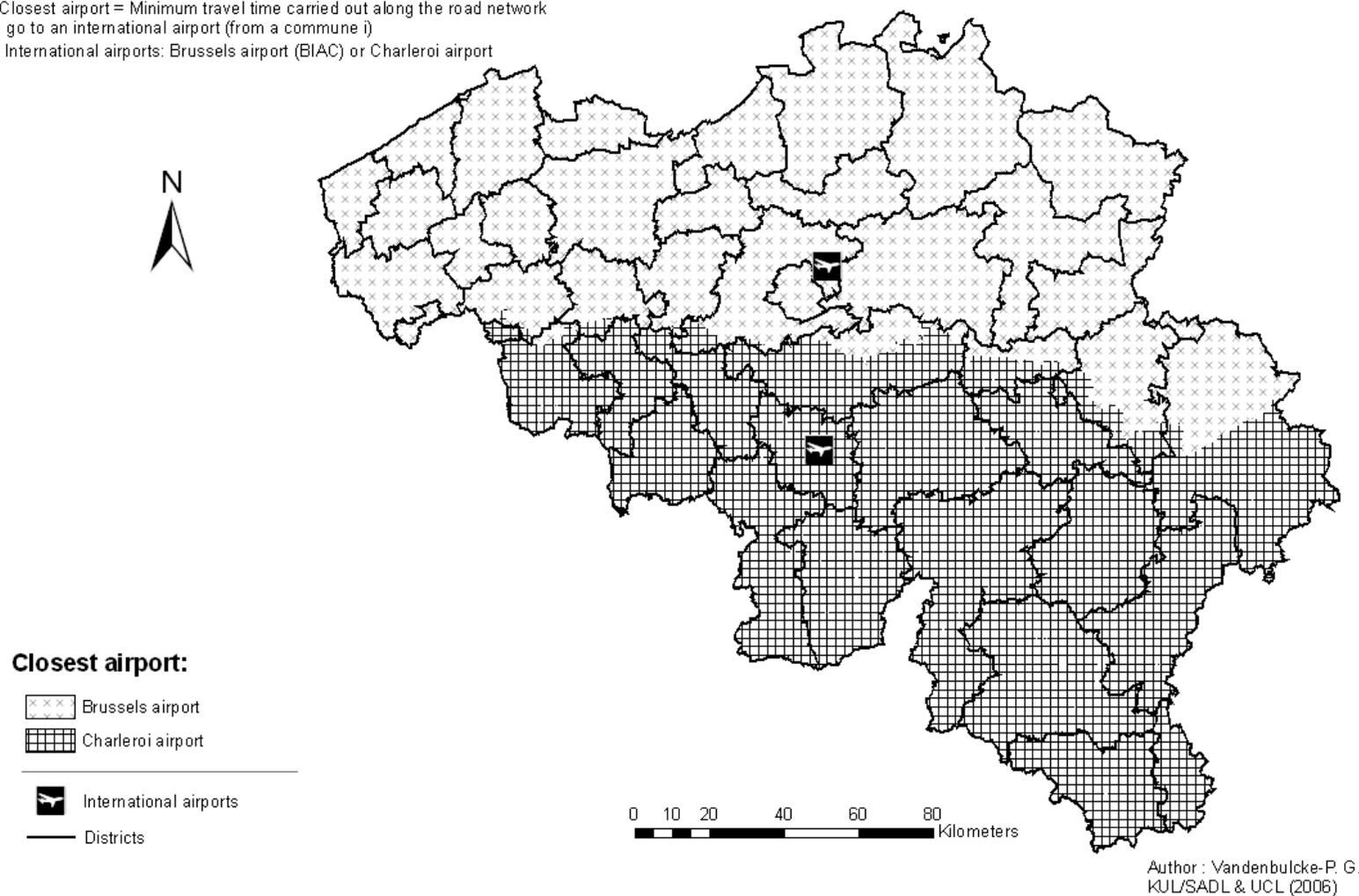


Carte 33 : Aires de service des aéroports de Zaventem et de Charleroi – Aéroport le plus proche, pendant les heures creuses

Closest* international airport** during peak hours

* Closest airport = Minimum travel time carried out along the road network to go to an international airport (from a commune i)

** International airports: Brussels airport (BIAC) or Charleroi airport



Carte 34 : Aires de service des aéroports de Zaventem et de Charleroi – Aéroport le plus proche, pendant les heures de pointe

4. Accessibilité aux gares belges (passagers)

4.1. Données utilisées

Les différentes données **utilisées** dans cette analyse sont les suivantes :

- Banque de données routières disponibles à l'UCL et à la KUL (627.856 arcs)
- Banque de données sur la population et l'emploi par commune (01/10/2001). Source : INS (voir <http://statbel.fgov.be/>)
- Supports cartographiques du réseau routier et des différentes limites administratives du territoire belge (arrondissements, communes, anciennes communes, secteurs statistiques). Source : IGN.
- Base de données relative à la localisation GPS des gares passagers. Source : SNCB (Infrabel), 2005.
- Base de données relative au nombre de trains par gare, circulant sur un jour ouvrable du mois d'octobre 2005. Source : SNCB (Infrabel), 2005.

4.2. Méthodologie et différentes étapes du travail

Avant d'aborder la méthodologie, il convient à nouveau de donner les informations suivantes:

- **Aire d'étude** : Belgique
- **Echelle d'analyse** : INS 6 (anciennes communes, datant d'avant la fusion de 1977)
- La situation en **heures creuses** (21h00-5h00) et celle en **heures de pointe** (7h00 à 10h00 et 15h00-20h00) sont toutes deux envisagées dans cette partie du travail.
- **Logiciel informatique** utilisé : ArcGIS 9.1 (extension : Network Analyst)

4.2.1. Méthodologie

L'**objectif** est ici de construire une mesure de l'accessibilité vers les gares voyageurs. Sans tenir compte des gares de fret et celles utilisées pendant des périodes de congé (par exemple, la gare de Zeebrugge-Strand), la SNCB exploite 539 gares de type passager en Belgique. Notons que, dans le décompte, les « gares » de Bastogne Nord et Bastogne Sud n'ont pas été reprises car la liaison entre Libramont et Bastogne a désormais été remplacée par une ligne de bus. N'étant plus à proprement parler de type ferroviaire, nous avons donc décidé de ne pas inclure la ligne 163 (Libramont-Bastogne) dans notre analyse de l'accessibilité aux gares.

Le **but de la méthode** est d'étudier la distance temporelle entre une ancienne commune *i* et chacune des gares SNCB. Concrètement, nous nous trouvons donc dans une situation de Park & Ride, ou même de Kiss & Ride. Dans le premier cas, le navetteur utilise sa voiture pour se rendre à la gare, où il laisse celle-ci dans un parking-relais avant de prendre le train (pour se rendre à son lieu de travail, par exemple). Dans le deuxième cas, le navetteur est déposé par un conducteur sur une aire de stationnement prévue pour les chargements/déchargements de personnes.

Sur base des résultats obtenus par le Network Analyst, nous ne retiendrons finalement que la distance minimum entre une ancienne commune *i* et une gare. Comme dans le cas des aéroports et des grandes villes, nous obtenons une cartographie des distances temporelles

autour de chacune des gares, mettant ainsi en évidence les communes les plus défavorisées au niveau de l'accessibilité en voiture vers la gare la plus proche.

Dans une deuxième étape, nous intégrerons aussi les **fréquences journalières de trains par gare** dans le calcul de l'accessibilité au transport ferroviaire. En effet, la proximité par rapport à une gare n'est pas toujours un critère pertinent pour évaluer l'accessibilité d'une commune. A titre d'exemple, certaines communes ardennaises possèdent une gare sur leur territoire mais la fréquence journalière des trains passant par celle-ci peut parfois être très faible.

A nouveau, nous utilisons le même type de réseau routier que celui utilisé dans le point 2, à la différence près que nous intégrons la congestion dans le calcul de l'accessibilité. Les origines sont également les mêmes (centroïdes des secteurs administratifs), mais les destinations reprises correspondent par contre aux gares de type passager de la SNCB. En outre, le réseau routier est hiérarchisé sur base de différentes vitesses, et les temps de parcours résultants ont été corrigés à l'aide de la fonction d'impédance définie dans le point 2 (notamment pour tenir compte de la traversée des régions urbaines et du phénomène de congestion).

Comme cela a été le cas pour l'accessibilité aux aéroports, nous effectuerons également une comparaison entre une situation de congestion et une autre où la congestion n'est pas considérée, de sorte à identifier certaines zones (ou communes) où le phénomène actuel de la congestion routière pose problème sur l'accessibilité.

4.2.2. Sélection des gares

A partir de la base de données relative à la localisation GPS des différents nœuds exploités par la SNCB, nous n'avons repris que les **gares voyageurs**. Après avoir éliminé manuellement de cette base tout ce qui se rapporte aux bifurcations, aux gares marchandises, aux raccordements, ou encore aux postes de signalisation, nous avons finalement obtenu un fichier comportant un ensemble de points d'arrêt. Afin de rendre ce travail de sélection le plus correct possible, nous nous sommes basés sur des cartes établies par le bureau de dessin d'Infrabel. Les cartes que nous avons utilisées reprennent le tracé du réseau ainsi que la localisation de chacune des gares passagers et marchandises.

Afin de vérifier si certaines gares étaient encore exploitées par la SNCB dans le cadre du transport ferroviaire de passagers, nous nous sommes également basés sur le site officiel de la SNCB (horaires antérieurs au 09/12/06 ; adresse : <http://www.b-rail.be/main/F/index.php>), ainsi que sur un site indépendant de la SNCB mais néanmoins très fiable, Belrail (adresse : <http://www.belrail.be/F/index.php>). Parfois, la localisation de certaines gares a également dû être revue à l'aide du calculateur d'itinéraire Viamichelin, sans quoi nous n'obtenions pas de résultats sur le Network Analyst (en effet, certaines gares étaient localisées au-delà du seuil de tolérance).

Enfin, certaines gares ont encore été éliminées en raison d'une exploitation trop peu fréquente par la SNCB pendant l'année (uniquement pendant des jours fériés ou durant les vacances scolaires). Les gares étrangères ont également été retirées du lot, de sorte que l'analyse de l'accessibilité temporelle aux gares soit exclusivement limitée au territoire belge (on suppose donc un système fermé, ce qui n'est pas toujours très réaliste). Au final, nous obtenons donc un fichier composé de **539 gares** SNCB de type passager.

4.2.3. Analyse de la distance par route aux gares belges

Avant de cartographier les résultats de temps de parcours entre une ancienne commune i et la gare la plus proche (j), nous avons décidé de construire – à titre purement informatif – une carte des **distances métriques** à la gare la plus proche (Carte 35). Nous remarquons ainsi que les communes qui sont les plus périphériques par rapport aux gares sont surtout situées dans le sud du pays. En particulier, un grand nombre de communes situées en province de Liège et du Luxembourg ont à pâtir d'un manque d'accessibilité kilométrique élevé par rapport aux gares. En province du Luxembourg, c'est notamment le cas pour les communes de Bastogne, Fauvillers, Bertogne, Houffalize, ou encore La Roche-en-Ardenne, qui se localisent à une distance supérieure à 20 kilomètres. En province de Liège, les communes les plus concernées par un manque d'accessibilité aux gares sont, pour la plupart, situées en Communauté Germanophone (communes de Bütgenbach, Bullange, Amblève, ou Waimes, qui sont aussi situées à une distance de plus de 20 kilomètres de toute gare belge).

Toujours en Région wallonne, d'autres communes telles que Vresse-sur-Semois, Momignies, Chimay, Froidchapelle, Viroinval ou Doische sont aussi très distantes de toute gare belge (plus de 16, voire même 20 kilomètres pour certaines anciennes communes). En outre, on peut encore distinguer certaines « poches » plus périphériques par rapport à leur environnement direct, dont la distance à la gare varie généralement de 12 à 16 kilomètres (communes de l'est de la province du Brabant Wallon, communes d'Eghezée et de Wasseiges, communes de Wellin et de Rochefort, communes de Havelange et de Clavier, et commune de Mettet).

En Flandre, quelques poches subsistent également, mais elles sont plus petites (en termes de surface) ou moins éloignées des gares passagers de la SNCB. Ainsi, certaines poches peuvent être observées en Flandre Occidentale et dans l'est du Brabant Flamand, mais elles ne dépassent généralement pas les 16 kilomètres de distance par rapport à une gare. Par contre, certaines communes – telles que celles situées dans le nord du Limbourg (Maaseik, Kinrooi, Bree, Maasmechelen), au nord-est d'Antwerpen (Hoogstraten, Brecht, Ravels), ou encore au nord de Gent (Assenede, Zelzate, Wachtebeke) – se caractérisent par une distance élevée par rapport aux gares belges (plus de 16 kilomètres).

4.2.4. Analyse du temps de parcours aux gares belges

Comme pour les aéroports, cette approche a pour but de calculer les **distances temporelles** aux gares en partant d'une ancienne commune i . Pour ce faire, nous avons une nouvelle fois utilisé le Network Analyst, qui nous a finalement permis de construire une matrice OD de temps de parcours entre chaque ancienne commune i et chaque gare SNCB. Dans le but de voir quel temps il faut **au minimum** pour atteindre la gare la plus proche de son domicile, nous avons ensuite décidé de ne reprendre que le minimum du temps de parcours séparant une commune i d'une gare j . De cette manière, nous obtenons des résultats qui nous montrent quelles sont les communes les plus éloignées de toute gare belge. Notons que deux situations de congestion du réseau ont été envisagées.

Dans le cas où la congestion est absente, la représentation cartographique telle qu'illustrée sur la Carte 36 nous montre que les communes les plus périphériques sont surtout celles situées dans le nord de la province du Luxembourg (Bastogne et les communes situées au nord-ouest de la ville), dans l'est de la province de Liège (partie sud de la Communauté Germanophone), dans le sud de la « botte » du Hainaut (communes de Momignies et

Froidchapelle), dans le sud-est de la province de Namur (commune de Vresse-sur-Semois), dans le nord-est de la province du Limbourg (communes de Maaseik, Kinrooi, et Bree), dans le nord de la Flandre Orientale (communes de Sint-Laureins et d'Assenede), et dans le nord de la province d'Antwerpen (commune de Hoogstraten, nord de la commune d'Antwerpen). A nouveau, certaines poches plus périphériques peuvent encore être observées, comme c'est par exemple le cas pour les communes situées dans l'est du Brabant Wallon.

Lorsque la congestion est présente sur le réseau (voir Carte 37), les communes déjà très distantes du réseau ferroviaire perdent encore en accessibilité. Ainsi, certaines communes déjà citées ci-dessus (dans le cas des heures creuses) dépassent maintenant la barre des 25 minutes. En outre, des poches périphériques apparaissent plus nettement sur la carte : lorsque le réseau routier est saturé, certaines anciennes communes dépassent ainsi les 25 minutes de temps de trajet pour rejoindre une gare. C'est par exemple le cas pour les communes de l'est du Brabant-Wallon (Ramillies, Orp-Jauche, Incourt, Perwez, et Chaumont-Gistoux), mais aussi pour certaines communes situées en Flandre Occidentale (Oudenburg, Bredene, Gistel, et Middelkerke), en province du Limbourg (Tessenderlo), en province d'Antwerpen (Brecht et Malle), et dans le Brabant Flamand (commune de Geetbets).

Comme cela a été fait pour les aéroports, la baisse d'accessibilité peut être très facilement illustrée à l'aide de **graphiques** (voir Figures 10 et 11, ci-dessous). Ces derniers montrent non seulement le nombre d'habitants et d'emplois par intervalle de temps (mesuré autour des gares), mais ils permettent aussi de comparer la situation en heures creuses et celle en heures de pointe. On constate ainsi que, à cause de la congestion routière, le nombre d'habitants ayant accès à une gare en moins de 5 minutes passe de 7,1 millions (en heures creuses) à 5,1 millions (en heures de pointe)⁶¹. De la même manière, les emplois diminuent de 1,7 à 1,3 millions pour le premier intervalle de temps (0-5 minutes). Comme pour l'analyse de l'accessibilité aux aéroports, il y a également un report des valeurs sur des intervalles de temps plus élevés (par exemple, le deuxième intervalle de temps passe de 2,5 millions à 3 millions d'habitants, et de 350.000 à 500.000 emplois).

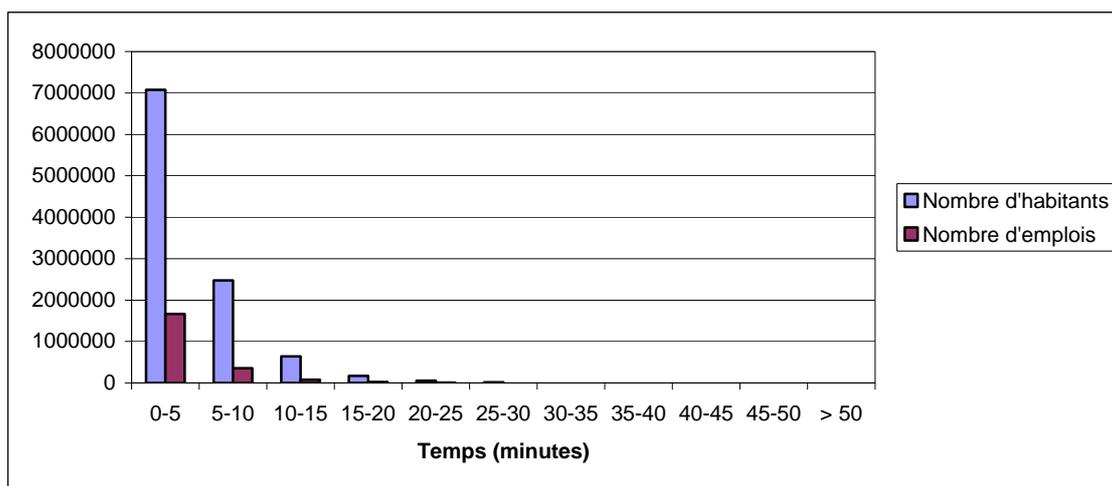


Figure 10 : Heures creuses – Nombre d'habitants et d'emplois par intervalle de distance autour des gares voyageurs

⁶¹ Notons que les valeurs de temps de parcours sont légèrement sous-estimées, à cause de certaines composantes temporelles qui ne sont pas prises en compte dans nos calculs (par exemple, le temps mis pour trouver une place de parking, près de la gare).

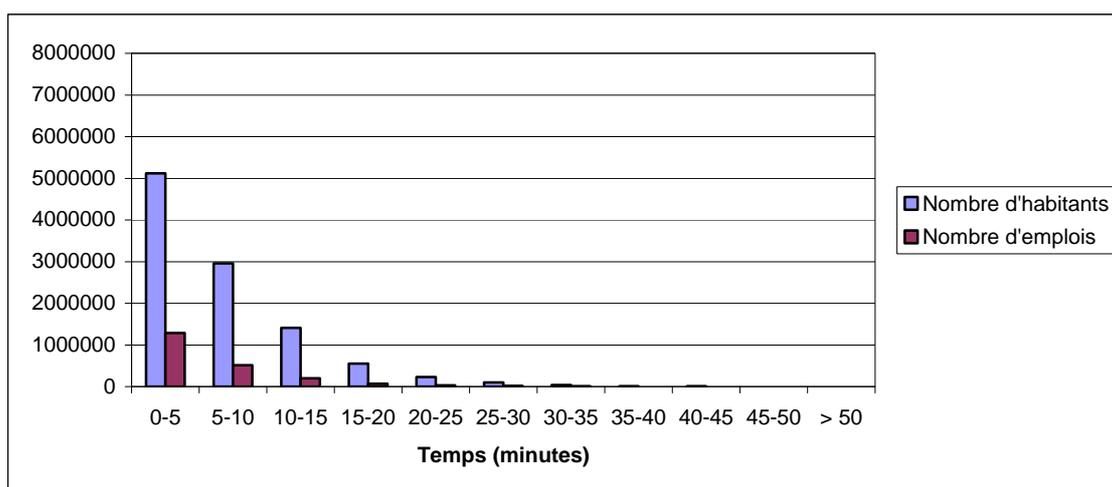


Figure 11 : Heures de pointe – Nombre d’habitants et d’emplois par intervalle de distance autour des gares voyageurs

Pour toutes les communes situées à une distance temporelle élevée d’une gare belge, nous pouvons supposer que la part modale en faveur du transport ferroviaire est très faible (aussi bien pour les personnes qui y résident que pour celles qui vont y travailler quotidiennement). Pour des anciennes communes situées à plus de 15 minutes⁶² de toute gare et de tout centre d’emploi important (ville, parc industriel, bureaux, ...), **il y a donc lieu de s’interroger sur la pertinence de certains projets immobiliers** tels qu’on en trouve parfois dans l’est du Brabant Wallon, ou encore dans le nord de la province du Limbourg. Ci-dessous, nous avons repris l’exemple d’un lotissement situé dans la commune de Meeuwen-Gruitrode, un peu au sud du village de Gruitrode (voir Figure 12).

Avant de promouvoir de tels projets immobiliers, des **études relatives à la proximité aux transports, aux lieux d’emplois et aux services** devraient donc avoir lieu. De même, comme nous le verrons plus loin dans ce rapport, tout projet d’implantation industrielle ou de zones de bureaux devrait faire l’objet d’études d’impacts au niveau de la mobilité des futurs employés. En effet, une distance (temporelle ou kilométrique) trop importante par rapport à une gare ou à un arrêt de transport en commun risque d’affecter la part modale en faveur de l’utilisation de la voiture. A ce propos, l’exemple du nord de la province du Limbourg est édifiant puisque, comme nous le verrons plus tard (voir point 7), plusieurs grandes entreprises y sont localisées. Néanmoins, pour plusieurs raisons dépendantes des caractéristiques des entreprises et de leurs employés, il convient d’apporter certaines nuances à nos résultats. En effet, des **analyses** devraient être réalisées **à une échelle plus locale** afin d’approcher de manière plus cohérente l’ampleur du problème.

⁶² Temps de parcours sur réseau routier, pendant des heures de pointe.

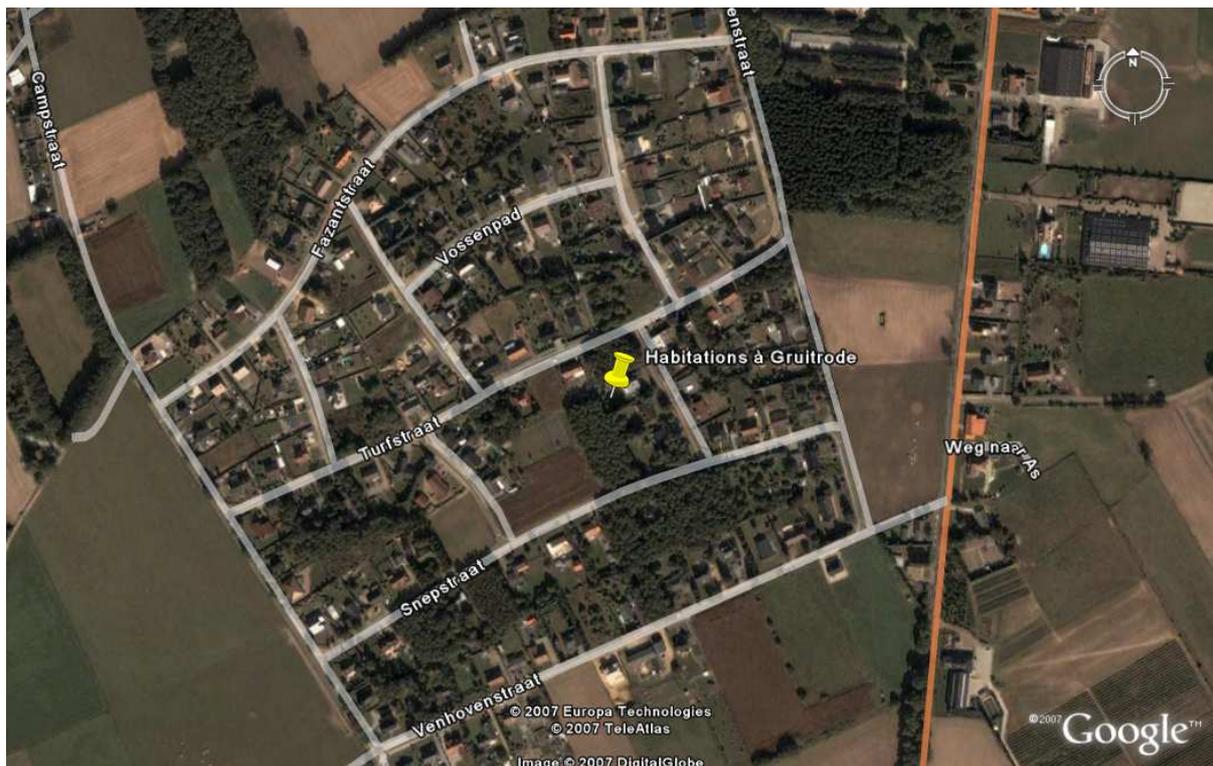


Figure 12 : Cette image satellitaire est tirée de Google Earth et illustre un lotissement, situé à Gruitrode (dans la province du Limbourg). A l'heure actuelle, de nombreux lotissements se développent encore dans des zones agricoles, éloignées de toute gare et de tout service public, et font la part belle à l'automobile (ce qui a pour résultat d'augmenter les problèmes de mobilité).

4.2.5. Analyse de l'accessibilité par route aux gares belges : les cas particuliers des deux provinces du Brabant et de la Région de Bruxelles-Capitale

Afin d'avoir une idée plus claire et plus précise de l'accessibilité aux gares, nous avons décidé de porter l'analyse faite ci-dessus à une échelle plus grande, et donc plus précise. Pour ce faire, nous avons choisi d'analyser avec plus de détails les deux provinces du Brabant ainsi que la Région de Bruxelles-Capitale (voir Cartes 38 à 41). Les résultats obtenus ont donc pour principal intérêt d'illustrer l'utilité de la méthode à l'échelle locale. Enfin, notons que certaines cartes ont également été produites à la demande du comité d'accompagnement.

4.2.5.1. Accessibilité aux gares en province du Brabant Wallon

Dans le cas du **Brabant Wallon**, la Carte 38 montre que, en dehors des heures de congestion, certaines anciennes communes de l'**est de la province** sont situées au-delà du seuil des 15 minutes de temps de trajet pour se rendre à la gare la plus proche. C'est notamment le cas pour les communes de Ramillies et d'Orp-Jauche. Comme nous pouvons le voir sur la Carte 38, d'autres communes – comme Incourt ou Jodoigne – sont également très distantes de toute gare belge (au moins 13 à 15 minutes de temps de trajet en voiture, et pendant des heures creuses).

Globalement, c'est donc presque toute la partie est de la province du Brabant Wallon qui ressort comme très périphérique par rapport aux gares. Au centre et à l'ouest de la province, on remarque aussi plusieurs **poches périphériques**, au sein desquelles les habitants mettent

de 5 à 13 minutes (environ) de temps de trajet en voiture pour rejoindre une gare SNCB. Plus particulièrement, on distingue encore :

- Une première poche, située entre les lignes 140 (Ottignies - Marcinelle) et 161 (Bruxelles-Nord - Namur). Il s'agit essentiellement de la commune de Chastre.
- Une deuxième poche, très grande en superficie et située entre les lignes 161 (Bruxelles-Nord - Namur) et 124 (Bruxelles-Midi - Charleroi Sud). Les communes concernées sont Genappe et Lasne, ainsi que toute la partie ouest de l'ancienne commune de Céroux-Mousty.
- Une troisième poche, moins périphérique que les précédentes et située entre les lignes 124 (Bruxelles-Midi - Charleroi Sud) et 96 (Bruxelles-Midi - Halle, Halle - Quévy). Elle est principalement composée des communes de Ittre et de Braine-le-Château.
- Une quatrième et dernière poche (également moins périphérique que les deux premières), située à l'ouest de la ligne 96. Il s'agit de la commune de Rebecq.

Outre l'existence de zones très éloignées des gares, nous distinguons également certains couloirs, ou « **corridors** », pour lesquels l'accessibilité aux gares en voiture est très bonne. Ces corridors correspondent généralement au tracé des grandes lignes ferroviaires (96, 124, 140, et 161) et sont nécessairement ponctués d'un grand nombre de points d'arrêts SNCB. En partant de l'est du Brabant Wallon et en allant vers l'ouest, on distingue ainsi :

- Un premier corridor, traversé par les lignes 139 (Leuven-Ottignies), 140 (Ottignies-Marcinelle) et 161 (Bruxelles-Nord - Namur). En effet, on constate que la distance entre les centres de population et les gares est relativement faible, avec des temps de trajet inférieurs à 5 minutes. Ce corridor est composé des communes suivantes : La Hulpe, Rixensart, Wavre, Ottignies-Louvain-la-Neuve, Court-Saint-Etienne, Mont-Saint-Guibert, et Villers-la-Ville. Notons que le nord de la commune de Chastre fait également partie de ce corridor d'accessibilité.
- Un deuxième corridor, traversé par la ligne 124 (Bruxelles-Midi - Charleroi Sud) et composé des communes de Waterloo, Braine-l'Alleud, et Nivelles.
- Un dernier corridor, traversé par la ligne 96 (Bruxelles-Midi - Halle, Halle-Quévy) et composé de la commune de Tubize.

Pendant les heures de pointe (voir Carte 39), la distance temporelle à parcourir pour rejoindre une gare augmente très sensiblement et dépasse le seuil des 15 minutes pour un grand nombre d'anciennes communes. Ainsi, dans la partie est du Brabant Wallon, la zone décrite précédemment comme très périphérique s'étend et couvre une surface encore plus importante. Les communes concernées ne sont plus seulement Ramillies et Orp-Jauche, mais aussi Jodoigne, Beauvechain, Incourt, Perwez, Chaumont-Gistoux (partie ouest), et Walhain (partie ouest). Les répercussions de la congestion des grandes villes et des principaux axes routiers sont donc identifiables pour toute la partie orientale de la province. En outre, d'autres communes – situées plus à l'ouest de la province – sont également caractérisées par un temps de trajet accru, notamment celles faisant partie des grandes poches périphériques que nous avons déjà identifiées ci-dessus. Bien que la superficie couverte par ces poches ne varie pas vraiment, le temps de parcours jusqu'à la gare la plus proche augmente, quant à lui, de manière généralisée. En particulier, les communes les plus touchées par cet accroissement de temps en période de pointe sont Lasne (partie sud) et Ittre.

En plus d'avoir des conséquences sur des aires rurales et éloignées de toute gare, nous constatons aussi que la congestion routière a pour effet de diminuer la surface des corridors d'accessibilité, allant même jusqu'à fragmenter ces derniers. C'est notamment le

cas pour les communes traversées par les lignes 139 (Leuven-Ottignies), 140 (Ottignies-Marcinelle) et 161 (Bruxelles-Nord - Namur). En effet, la proximité d'un centre de population par rapport à une gare belge ne suffit parfois pas à compenser les pertes de temps dues au phénomène de congestion, surtout si la commune concernée est densément peuplée. Dans le cas de la commune de Waterloo (par exemple), la très forte densité de population et d'activités a pour conséquence d'augmenter le temps de trajet pour rejoindre la gare, cela même si la proximité entre le centre de population et la gare est très grande.

4.2.5.2. *Accessibilité aux gares en province du Brabant Flamand et en Région bruxelloise*

Pendant les **heures creuses**, la Carte 40 nous montre que les principaux « corridors » d'accessibilité correspondent au tracé des lignes ferroviaires. La seule exception est la ligne 50A, ce qui s'explique par l'absence de gare vers laquelle le voyageur pourrait éventuellement se diriger pour prendre le train. En partant de l'est et en allant vers l'ouest de la province du Brabant Flamand, nous observons ainsi un grand nombre de corridors d'accessibilité (Leuven-Landen, Leuven-Diest, Leuven-Mechelen, Leuven-Bruxelles, Bruxelles-Mechelen, ...), caractérisés par des temps de parcours très faibles entre les centres de population et les gares les plus proches (environ 0 à 5 minutes de temps de parcours). En outre, même si certaines communes ne font pas partie des corridors tels que nous les avons définis, nous pouvons voir que la plupart des habitants des communes flamandes et bruxelloises mettent moins de 10 minutes pour rejoindre la gare la plus proche (toujours en heure creuse). Seules quelques rares communes situées à l'est (Tielt-Winge, Bekkevoort, Kortenaeken, Geetbets et Zoutleeuw) et à l'ouest de la province (Gooik, Lennik, et Pepingen) dépassent le seuil de 10 minutes de temps de parcours. Notons encore que les anciennes communes de Tremelo (commune du même nom) et de Duisburg (commune de Tervuren) sont également situées à un temps de parcours supérieur à 10 minutes pour rejoindre un point d'arrêt SNCB.

D'une manière générale, on remarque donc que, quelle que soit la commune considérée (flamande ou bruxelloise), il ne faut généralement pas plus de 15 minutes pour rejoindre une gare en dehors des heures de pointe⁶³. En comparaison avec la carte du Brabant Wallon (voir Carte 38), on constate que, dans les deux cas, ce sont souvent les zones caractérisées par des faibles densités (de population et d'emploi) qui sont les plus éloignées des points d'entrée du réseau ferroviaire. Lorsqu'on rassemble les deux provinces du Brabant et la Région de Bruxelles-Capitale sur une même carte, on observe que les communes de l'est de la province du Brabant Wallon (notamment celles d'Orp-Jauche et de Ramillies) sont celles qui se distinguent par le plus fort niveau de périphéralité (plus de 15 minutes pour atteindre une gare belge en heure creuse).

En période de congestion (voir Carte 41), la situation change radicalement. En effet, de nombreuses communes flamandes (ainsi que l'ouest de la commune d'Anderlecht) ne peuvent accéder à une gare belge en moins de 15 minutes (en voiture). Si certaines sont caractérisées par une faible densité de population, d'autres ne le sont toutefois pas (par exemple, communes de Tervuren et de Grimbergen). En outre, on remarquera aussi le **nombre élevé de petites poches périphériques**, contrairement à la province du Brabant Wallon où les poches sont généralement plus grandes et moins nombreuses. On distingue ainsi :

⁶³ Notons toutefois que, si la personne considérée habite **en dehors** du centre de population de son ancienne commune, il est tout à fait possible que le temps de parcours excède les 15 minutes.

- Une première poche, située à l'est de la province du Brabant Flamand et entre les lignes 35 (Leuven-Aarschot, Aarschot-Hasselt) et 36 (Bruxelles-Nord - Liège-Guillemins). Le temps de parcours pour rejoindre la gare la plus proche varie de 10 à plus de 20 minutes. Les communes concernées sont Geetbets, Kortenaeken, Linter, Zoutleeuw, Bekkevoort, Glabbeek, Tielt-Winge, Lubbeek et Holsbeek.
- Une deuxième poche, située au nord des lignes 35 (Leuven-Aarschot, Aarschot-Hasselt) et 53 (Schellebelle-Leuven). Cette poche se situe à plus de 10-15 minutes de temps de parcours d'une gare et se compose des communes de Tremelo, Keerbergen, et Rotselaar (partie nord).
- Une troisième poche, située à l'est de la Région bruxelloise et composée des communes de Tervuren, Wezembeek-Oppem, Bertem et Huldenberg. Selon l'ancienne commune considérée, le temps de parcours variera de 10 à plus de 15 minutes de temps de parcours pour rejoindre une gare.
- Une quatrième poche, située à l'ouest de Bruxelles et composée des communes de Sint-Pieters-Leeuw, Lennik, Gooik, Herne et Pepingen. Notons que les anciennes communes d'Anderlecht Ouest et de Borchtlombeek font également partie de cette poche, dont le temps de parcours jusqu'à une gare s'élève à 10, voire même plus de 15 minutes.
- Une cinquième poche, située au nord de Bruxelles et composée des communes de Grimbergen, Meise, et Merchtem (partie sud). Le temps de parcours jusqu'à la gare la plus proche varie également entre 10 et 15 minutes.
- Enfin, il existe encore d'autres petites poches, pour lesquelles le temps de parcours varie entre 10 et 13 minutes. Il s'agit notamment de communes situées au sud de la ville de Leuven (par exemple, Oud-Heverlee et Bierbeek) et au nord-est de la Région bruxelloise (plus particulièrement, la commune de Kampenhout).

A cause de la congestion routière, les principaux **corridors d'accessibilité** que nous avons identifiés auparavant sont, comme pour la province du Brabant Wallon, contractés et morcelés en plusieurs parties. Seules les centres de population relativement proches des gares restent encore à une distance (temporelle) inférieure à 5 minutes. Sauf pour des raisons liées au niveau de desserte de la gare (nombre de trains qui y passent journalièrement) ou au manque de places de parking⁶⁴, les gares situées à proximité de ces centres attirent généralement une part importante de la population résidente (que ce soit en voiture, en bus, en vélo, ou même à pied).

Au contraire, il est très probable que les communes situées à plus de 15 minutes⁶⁵ comptent peu de personnes prenant régulièrement le train comme deuxième mode de transport (en cas de P+R). Par exemple, dans le cas de Chaumont-Gistoux (Brabant Wallon), seuls 3,3 % des personnes qui se déplacent prennent le train pour se rendre au travail, alors que 82,7 % des personnes utilisent la voiture (74,2 % de conducteurs + 8,5 % de passagers)⁶⁶. A l'heure où de grands projets immobiliers d'appartements et de commerces émergent dans les campagnes et où la ruralité de certains villages est menacée, il devient donc urgent d'appliquer certaines **mesures** réglementaires en aménagement du territoire afin de conditionner le choix du mode utilisé et la distance parcourue par les personnes qui se déplacent. En effet, **l'aménagement du territoire constitue, au travers de la localisation des activités et des résidences, un puissant outil de maîtrise des déplacements** (CPDT, 2005).

⁶⁴ Ce qui est indispensable à la pratique du Park&Ride ...

⁶⁵ En heures de pointe ou en heures creuses.

⁶⁶ Source : Plan intercommunal de Beauvechain, Chaumont-Gistoux, Grez-Doiceau, Incourt. Adresse URL : <http://mobilite.wallonie.be/pcm/index.html>.

4.2.6. Différence entre les heures creuses et les heures de pointe

4.2.6.1. Différence absolue

Toujours dans le but d'analyser quels sont les endroits où les pertes de temps sont les plus élevées (pour rejoindre la gare la plus proche), nous effectuons ici aussi une simple différence entre le temps de parcours (ΔT) mis pendant des heures de pointe et celui mis pendant des heures creuses.

Après avoir procédé à une cartographie de la différence ΔT (voir Carte 42), nous pouvons observer que les pertes de temps dues à la congestion concernent les communes situées au nord-est de la ville de Liège (communes de Blégny, Oupeye, Visé et les Fourons), au sud-est de la ville de Charleroi (communes de Gerpinnes et de Mettet), au nord-est du Limbourg (communes de Maaseik, Kinrooi, Dilsen, Bree), dans le nord de la province d'Antwerpen (communes de Hoogstraten, Brecht, Rijkevorsel, ou Merksplas), dans le nord de la Flandre Orientale (communes de Zelzate, Assenede, Sint-Laureins, ...), à la périphérie de la ville d'Ostende (communes de Bredene, Oudenburg, Gistel, et Middelkerke), ou encore dans la région de Kortrijk et de Roulers. Quelques poches périphériques peuvent encore être trouvées dans les deux provinces du Brabant (autour de la Région bruxelloise et dans l'extrême-est des deux provinces), mais aussi dans le Limbourg et en province d'Antwerpen (axe Herenthout-Tessengerlo). Enfin, la Carte 42 montre que les pertes de temps observées pour la région ardennaise et pour la Communauté Germanophone sont faibles.

4.2.6.2. Différence relative (%)

Lorsqu'on calcule la **différence relative** entre les deux situations de congestion du réseau, on constate que le temps de trajet additionnel pour rejoindre la gare la plus proche⁶⁷ est **élevé dans toutes les grandes régions urbaines belges** (voir Carte 43). La seule exception notable est la Région de Bruxelles Capitale, pour laquelle le changement de temps de parcours (quand on passe d'une situation en heures creuses à une situation de congestion) n'est pas aussi élevé qu'il ne l'est en périphérie. En effet, la combinaison entre un temps de parcours déjà élevé en heures creuses⁶⁸ et la présence d'un grand nombre de gares a pour conséquence de produire un temps de parcours additionnel (par rapport aux heures creuses) sensiblement moins important que celui occasionné en périphérie.

Un autre résultat intéressant illustré par la Carte 43 est la **forte corrélation entre les limites des agglomérations** (voir carte des régions urbaines, Annexe 1) **et les zones où le temps de parcours double durant les heures de pointe** (sauf exception dans le cas de l'agglomération de Tournai). Un résultat pareil n'est toutefois pas étonnant dans la mesure où la majeure partie de la population belge réside (43 %) et travaille (55 %) dans les agglomérations (Mérenne, Van der Haegen & Van Hecke, 1997). Concentrant un grand nombre d'activités ainsi que la majeure partie de la population belge, les agglomérations sont donc les régions les plus susceptibles d'être affectées par le phénomène de congestion routière (notamment à cause d'un grand nombre de déplacements qui s'y produisent). Bien que plus difficile à établir, une corrélation semblable à celle identifiée entre les agglomérations et les zones de plus forte

⁶⁷ Sur réseau routier, et en heure de pointe.

⁶⁸ Notamment à cause d'un grand nombre d'obstacles urbains, d'un degré d'activité intense, et d'une forte densité de population.

congestion existe encore entre les limites des banlieues et les communes où le temps de parcours augmente entre 65 et 80 %.

Comme dans le cas de l'accessibilité aux aéroports, on ne manquera pas de remarquer que le temps additionnel entre Bruxelles et Antwerpen est très élevé (+ 80 à + 117 %). Il en est de même pour les grandes villes du sillon Sambre-Meuse (Liège, Namur, Charleroi, La Louvière et Mons), qui perdent également un temps relativement élevé à cause de la congestion. En Flandre, le phénomène est généralisé à toutes les grandes villes qui possèdent une région urbaine (Genk, Hasselt, Antwerpen, Brugge, Oostende, Gent, Mechelen, Leuven, Kortrijk, et Sint-Niklaas), ainsi qu'à d'autres villes moins importantes comme Alost, Herentals, Roulers, Turnhout, Renaix, ou Eeklo. Dans la province du Brabant Wallon, d'autres villes très affectées par la congestion sont, par exemple, Wavre, Ottignies-Louvain-la-Neuve, Rixensart, ou Waterloo.

Enfin, notons que la Région flamande est, dans son ensemble, très touchée par la congestion du réseau routier. En effet, la plupart des communes ne descendent pas en dessous du seuil des 35 % de temps additionnel pour rejoindre la gare la plus proche, alors qu'au sud du sillon Sambre-Meuse, la plupart des communes arrivent à un maximum de 20 % de temps de trajet additionnel (sauf exception dans le cas de l'arrondissement d'Arlon et dans celui de la région de Marche-en-Famenne).

4.2.7. Temps généralisé de parcours aux gares belges

4.2.7.1. Importance de la fréquence dans les calculs d'accessibilité

Le fait de supposer que chaque individu se rend à la station la plus proche (comme nous l'avons fait ci-dessus) n'est pas toujours très représentatif de la réalité, surtout lorsqu'on sait que la fréquence des trains n'est pas la même d'une gare à l'autre. A titre illustratif, le nombre de trains **qui s'arrêtent** à la gare de Jambes n'est pas égal au nombre de trains **qui s'arrêtent** à la gare de Namur (Tableau 3). En effet, selon le comptage du nombre de trains effectué par la SNCB (octobre 2005), on peut voir que 81 trains s'arrêtent à Jambes, alors qu'il y en a 347 qui s'arrêtent à Namur.

	Namur	Jambes
IC	152	36
INT	6	0
IR	37	37
L	112	0
P	40	8

Tableau 10 : Nombre de trains par gare et type de relation (IC, IR, ...)

Par conséquent, les personnes qui habitent Jambes pourraient très bien ne pas se rendre à la gare qui se trouve le plus près de leur domicile (soit, la gare de Jambes) mais plutôt à celle de Namur, notamment parce que cette dernière dispose d'une fréquence bien plus élevée. Au travers de cet exemple, nous pouvons constater qu'il est donc **indispensable d'intégrer une mesure de fréquence** (exprimée en nombre de trains qui s'arrêtent à une gare) **dans nos calculs d'accessibilité**. Notons que, si on rentre un peu plus dans les détails et qu'on se soucie également du type de liaison (IC, INT, IR, L ou P), la mesure pourrait être affinée et devenir

ainsi plus représentative de la réalité (voir Tableau 3). Le **type de liaison** a, en effet, beaucoup d'importance dans la mesure de l'accessibilité, dans le sens où la présence (ou l'absence) de trains rapides dans une gare (de type IC, par exemple) influencera l'individu dans le choix de la gare de départ. Une gare bien desservie et offrant une liaison **rapide** aura ainsi plus de probabilité d'être la gare de départ de notre individu, même si une autre gare (à faible niveau de desserte) se trouve plus près de son domicile.

Pour arriver à une meilleure représentation de la réalité, nous intégrerons donc la fréquence dans le calcul du temps de parcours, ce qui nous permettra de faire la distinction entre les grandes gares (à haut niveau de desserte) et les petites gares (à faible niveau de desserte). Néanmoins, la distinction entre les différents types de liaisons (IC, IR, ...) n'entrera pas en ligne de compte, notamment parce que nous ne disposons pas de pondération représentative de l'attractivité de chacune de ces liaisons. Notons que, dans un rapport rédigé dans le cadre de la CPDT (2005), des mesures d'accessibilité aux gares ont déjà été produites sur base de valeurs arbitraires attribuées à chacune des liaisons. A titre illustratif, un poids de 10 était accordé aux liaisons les plus rapides (par exemple, des trains internationaux tels que les Thalys), alors qu'un poids de 1 était attribué aux liaisons les plus lentes (par exemple, des trains locaux ou omnibus). Bien que l'idée soit très intéressante puisque fonction de la vitesse de la liaison, nous avons préféré éviter l'appliquer pour certaines raisons. En effet, même s'il est représentatif de la réalité, le lien entre le poids et la vitesse de la liaison n'est pas basé sur des données empiriques. Idéalement, il faudrait donc se baser sur une étude qui relie le type de liaison et son attractivité. En outre, la méthode n'étant pas la même que celle utilisée dans le rapport de la CPDT, l'utilisation de poids aléatoires risquait d'introduire un biais dans notre analyse puisqu'on suppose ici que l'individu choisit sa gare de départ sur base d'une minimisation du temps généralisé de parcours entre celle-ci et son domicile.

4.2.7.2. *Notion de temps de parcours généralisé*

De la même manière que le coût généralisé est utilisé dans la mesure de l'accessibilité pour le transport de marchandises, nous pouvons utiliser la notion de **temps généralisé** (entre une origine i et une destination j) afin d'obtenir un temps de parcours total, c'est-à-dire intégrant plusieurs composantes de temps (par exemple : temps de marche entre l'origine et l'arrêt, temps d'attente à l'arrêt, temps de parcours dans le véhicule, et temps de marche entre l'arrêt et la destination).

Dans le cadre de cette analyse, le temps généralisé reprend d'une part le **temps de parcours** t_{ij} d'une origine i vers la gare de destination j (ou de départ, si on considère que la personne se rend après à son lieu de travail), et d'autre part le **temps d'attente moyen entre deux trains** à la gare j . L'intérêt d'intégrer une composante relative au temps d'attente moyen dans une gare est de tenir compte de la fréquence journalière des gares, ou, en d'autres termes, du nombre de trains (tous types de liaisons confondus) qui passent chaque jour dans la gare. Par conséquent, en choisissant d'inclure le temps d'attente moyen dans le calcul du temps généralisé, nous tenons donc compte du niveau de desserte de chaque gare et nous intégrons la distinction grande / petite gare (ou gare à fort / faible niveau de desserte) dans le choix de l'individu.

Formellement, le **temps d'attente moyen** w_j tel que nous l'avons défini ci-dessus s'écrit de la manière suivante :

$$w_j = \frac{H}{f_j}$$

Où w_j est le temps d'attente moyen entre deux trains, dans une gare j (exprimé en minutes)
 H est le nombre d' « heures de service », c'est-à-dire la période de la journée pendant laquelle les trains roulent.
 f_j est la fréquence journalière par gare, c'est-à-dire le nombre de trains qui s'arrêtent chaque jour dans la gare considérée (pendant le nombre d'heures de service H)

La plupart des trains ne roulant plus entre minuit et 4h00 du matin, nous avons choisi de prendre une période de service H égale à 20 heures ($H = 1200$ minutes). Notons aussi que l'équation ci-dessus amène à l'**hypothèse** que le voyageur ne prendra pas son train en just-in-time ou un peu avant l'heure prévue d'arrivée au quai. En effet, le temps d'attente moyen que nous avons défini ne correspond pas au temps d'attente « réel » que doit subir une personne. Par exemple, une gare qui aurait une fréquence égale à 60 trains par jour générerait un temps d'attente moyen de 20 minutes. Or, lorsque le voyageur prend sa voiture et qu'il la laisse à la gare pour ensuite prendre le train (Park & Ride), il n'attend généralement pas 20 minutes avant de voir arriver son train à quai. En effet, si le voyageur prend sa voiture pour se rendre à la gare, il le fait justement pour des questions de flexibilité et pour arriver juste un peu avant l'heure d'arrivée de son train (par exemple, 5-10 minutes avant que le train n'arrive à quai).

Le temps d'attente moyen entre deux trains étant d'environ 16,67 minutes pour toutes les gares belges⁶⁹, il paraît donc nécessaire de ramener ce temps à une **valeur plus réaliste** par rapport au temps d'attente réel. C'est pourquoi, dans l'équation du temps d'attente moyen w_j , nous introduisons un coefficient $1/K$ qui diminue la valeur de w_j :

$$w_j = \frac{1}{K} \cdot \frac{H}{f_j}$$

Dans le cadre de notre étude, la valeur de K a été définie ici comme étant le rapport entre H (nombre d'heures de service) et le maximum de fréquence de toutes les gares belges (f_{max}) :

$$K = \rho \cdot \frac{H}{f_{max}} = 2 \cdot \frac{1200}{1014} = 2,367$$

Pour des raisons pratiques, un coefficient $\rho = 2$ a été rajouté afin de mieux approcher l'intervalle de temps d'attente réel (c'est-à-dire tel qu'il est imposé aux voyageurs lorsqu'ils attendent un train). Ainsi, après intégration du coefficient $1/K$ dans la formulation de w_j , un temps d'attente moyen de 16,67 minutes (moyenne pour toutes les gares belges) est ramené à environ 7 minutes.

L'**intérêt** d'utiliser cette formule plutôt qu'une valeur arbitraire de K est multiple, puisque :

- Nous obtenons une valeur minimum (fixe) de w_j qui sera toujours égale à 0,5 minute (soit, 30 secondes de temps d'attente)

⁶⁹ En effet, à partir du comptage SNCB (2005), nous pouvons calculer que la fréquence moyenne d'une gare belge s'élève à environ 72 trains par jour, ce qui donne un temps d'attente moyen équivalent à $1200/72 \approx 16,67$ minutes.

- Nous diminuons l'impact du temps d'attente dans le calcul du temps généralisé, et, par conséquent, nous évitons d'exclure du choix du voyageur certaines gares dont la desserte est « moyenne »
- Nous obtenons une valeur de w_j qui est généralement très proche du temps d'attente réel.

4.2.7.3. L'équation du temps généralisé utilisée dans le calcul de l'accessibilité aux gares

Dès lors que le temps d'attente moyen entre deux trains a été défini (voir section précédente), nous pouvons formuler le **temps généralisé** T_{ij} de la manière suivante :

$$T_{ij} = t_{ij} + w_j$$

Où T_{ij} est le temps généralisé entre i (ancienne commune) et j (gare)
 t_{ij} est le temps de parcours entre i et j
 w_j est le temps d'attente moyen entre deux trains à la gare j

Dans le modèle que nous avons créé sous ArcMap 9.1., nous considérons que **l'individu habitant dans l'ancienne commune i choisira d'aller à la gare qui minimise le temps généralisé T** . En d'autres termes, il faut donc non seulement que le temps de parcours (en voiture) entre le domicile et la gare ne soit pas trop long, mais aussi que la gare propose une desserte convenable. Par conséquent, le choix de la gare (par l'individu) relève d'un **compromis** entre le temps de parcours t_{ij} et le temps d'attente entre deux trains w_j . Ainsi, dans le cadre de cette analyse, des gares proches du domicile i ne seront plus forcément celles vers lesquelles les usagers se rendront si leur niveau de desserte est très faible. Dans certains cas, les usagers feront donc un trajet plus long pour se rendre à une gare, mais, en contre-partie, ils devront attendre moins longtemps sur le quai.

A titre d'exemple, supposons une personne qui habite dans une ancienne commune i (point vert ; voir Figure 13) et ayant le choix de prendre le train dans l'une des deux gares $j = 1$ ou $j = 2$ (points rouges). Soit :

- $t_{01} = 10$ minutes, le temps de trajet entre i et $j = 1$
- $t_{02} = 20$ minutes, le temps de trajet entre i et $j = 2$
- w_j , le temps d'attente entre deux trains, qui est différent selon la gare ($j = 2$ étant mieux desservie que $j = 1$)

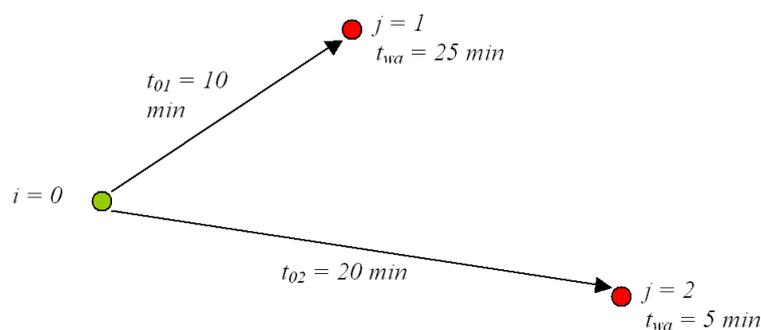


Figure 13 : Illustration du choix entre deux gares de fréquences différentes

Lorsqu'on ne tient pas compte du temps d'attente moyen entre deux trains, l'individu habitant au point i choisira de se rendre à la gare la plus proche, soit la gare $j = 1$ (en effet, $t_{01} = 10$ minutes $<$ $t_{02} = 20$ minutes). Cependant, si nous décidons de calculer un temps généralisé (reprenant à la fois le temps de parcours entre i et j et le niveau de desserte de chacune des gares) et de baser le choix de l'individu sur une minimisation de ce temps généralisé T_{ij} , la gare de destination obtenue pourrait alors bien être très différente de celle obtenue précédemment ($j = 1$). En effet, si nous faisons le calcul du temps généralisé pour chacune des gares, nous remarquons que :

- Le temps généralisé pour la gare $j = 1$ (noté T_{01}) est égal à :

$$T_{01} = t_{ij} + t_{wa} = 10 + 25 = 35 \text{ minutes}$$

- Le temps généralisé pour la gare $j = 2$ (noté T_{02}) est égal à :

$$T_{02} = t_{ij} + t_{wa} = 20 + 5 = 25 \text{ minutes}$$

Le temps généralisé T_{02} étant le plus faible des deux, la gare $j = 2$ est donc celle où l'individu habitant à i se rend pour prendre le train. Malgré un temps de parcours t_{02} plus grand que t_{01} , nous pouvons constater que la gare $j = 2$ est bien mieux desservie (en nombre de trains) que la première, ce qui ne manque pas d'influencer le choix de l'individu quant à sa destination. Celui-ci choisira donc, de préférence, la gare qui est la mieux desservie des deux (sauf dans le cas où la distance devient trop contraignante que pour s'y rendre).

Malgré le fait que nous tenons compte de la fréquence par gare, **le temps généralisé que nous avons calculé ici pourrait encore être affiné**, notamment en passant plus de temps à rechercher et à intégrer les différentes composantes de temps qui interviennent dans le calcul de l'accessibilité aux gares. Un autre problème relatif à cette méthodologie est qu'on ne tient pas compte ici de la **destination finale**, c'est-à-dire celle vers laquelle l'individu tend vraiment lorsqu'il fait le voyage en train. En effet, lorsqu'il se rend à la gare j , c'est généralement pour prendre le train et aller vers une autre destination (par exemple, une personne prenant le train et se rendant à son lieu de travail). Or, si, à cause d'un temps généralisé faible pour une gare j , l'individu se rend dans une direction opposée à celle de sa destination finale, il risque finalement de mettre plus de temps dans son trajet global que s'il partait d'une autre gare (plus proche de son lieu d'emploi). Ce sera notamment le cas si le temps de trajet en train entre $j = 1$ et $j = 2$ est supérieur à la différence entre T_{02} et T_{01} .

Idéalement, il faudrait donc étudier le temps de trajet d'une manière plus **globale**, notamment en intégrant l'ensemble du déplacement qui est effectué entre le domicile i de l'individu et la destination finale (par exemple, le lieu de travail). Plusieurs moyens existent afin de remédier à ce problème⁷⁰, mais ceux-ci sortent du cadre de cette analyse.

Notons enfin que la méthode pourrait être abordée différemment, dans le sens où l'on pourrait considérer le **temps réellement perçu** par les usagers lorsqu'ils attendent sur le quai, avant de monter dans le train. Par exemple, un temps d'attente de 10 minutes (à quai) n'est pas perçu de la même manière que 10 minutes de temps de loisir. De même, le temps passé à attendre sur le quai n'est également pas perçu de la même manière que le temps de trajet séparant le domicile i de la gare j . Par conséquent, des **pondérations** devraient être attribuées à chacune des composantes du temps généralisé, de sorte qu'on se rapproche de l'accessibilité telle que la perçoivent les individus.

⁷⁰ Notamment en calculant des indices de Shimmel relatifs au temps de parcours (sur réseau ferroviaire) entre les différentes gares.

4.2.7.4. Analyse des cartes de temps généralisé

Etant donné que chaque gare belge ne dispose pas de la même fréquence de desserte, nous avons alors additionné chaque temps de parcours t_{ij} et chaque temps d'attente w_j (propre à la gare de destination j). Ainsi, pour chaque couple i - j (centre de population - gare), nous obtenons un temps que nous appelons **généralisé**, puisqu'il rassemble plusieurs composantes de temps. L'**objectif** sera alors de minimiser le temps généralisé qui sépare chaque origine i de sa destination j (qui correspond, en réalité, au premier train que le voyageur « rencontrera » dans la gare). En effet, nous considérerons que le navetteur préférera minimiser à la fois le temps de parcours jusqu'à la gare j et le temps d'attente sur le quai. Si la fréquence de trains est trop faible, nous supposons qu'il optera pour une autre gare (à condition que celle-ci ne soit pas trop éloignée de la première).

En **période creuse**, la représentation cartographique du temps généralisé (voir Carte 44) nous montre quelques différences notables par rapport à celle présentée à la Carte 36. En effet, certaines communes nous paraissent bien moins accessibles que dans le cas où seul le temps de parcours est pris en compte pour mesurer l'accessibilité aux gares. C'est notamment le cas dans le sud du pays et pour certaines communes frontalières qui, à cause d'une mauvaise fréquence de desserte dans les gares les plus proches, perdent encore en accessibilité. Ainsi, en province du Luxembourg, les communes les plus touchées (plus de 25 minutes) sont surtout Houffalize, Gouvy, Vielsalm, Bastogne, Bertogne, La Roche-en-Ardenne, Durbuy, Erezée, Rendeux, ou encore Manhay. Malgré la présence d'une gare à proximité du centre de population et d'activité, certaines de ces communes (par exemple, Durbuy) disposent d'une mauvaise accessibilité par rapport aux gares (et donc aussi par rapport au transport ferroviaire). Plus dans le sud de la province, d'autres communes dépassent encore les 25 minutes de temps de trajet, notamment celles de Daverdisse, Bouillon, Chiny, Meix-devant-Virton, Rouvroy, ou même Virton et Florenville qui disposent pourtant toutes deux d'une gare sur leur territoire. Alors que ces deux dernières communes paraissaient avoir un niveau d'accessibilité relativement élevé par rapport aux gares lorsque seul le temps de parcours était pris en compte (voir Carte 36), elles deviennent maintenant très périphériques à cause de l'intégration de la fréquence de desserte de chacune des gares belges⁷¹.

En province de Liège, plusieurs communes – surtout celles situées en Communauté Germanophone – ne sont pas mieux loties qu'en province du Luxembourg. Tel est le cas des communes de Burg-Reuland, Saint-Vith, Amblève, Bullange, Bütgenbach, Waimes, Lierneux, Stoumont, Ferrières, ou Clavier. Bien que disposant d'une gare sur leur territoire, les communes de Stavelot et de Trois-Ponts sont caractérisées par un temps généralisé qui dépasse 20, voire même 25 minutes, notamment à cause d'une fréquence de desserte qui est relativement faible.

En province de Namur, les communes les plus périphériques sont moins nombreuses et sont toutes situées dans le sud de la province (surtout dans l'arrondissement de Dinant). Il s'agit des communes de Vresse-sur-Semois, Bièvre, Gedinne, Beauraing, Doische, et Viroinval. Ici aussi, la présence d'une gare dans des communes telles que Bièvre ou Gedinne ne suffit pas à justifier un niveau d'accessibilité élevé par rapport au réseau ferroviaire. En effet, la fréquence de desserte de ces gares est très faible et ne s'élève en moyenne qu'à 25 trains par jour (19 trains L et 6 trains P).

⁷¹ Par pur intérêt, nous invitons d'ailleurs le lecteur à faire régulièrement la comparaison entre la carte du temps généralisé et celle relative à la seule intégration du temps de parcours jusqu'à la gare la plus proche (t_{ij}).

En province du Hainaut, l'ensemble du territoire hennuyer bénéficie d'une très bonne accessibilité par rapport aux différents points d'arrêt SNCB. Les seules communes dont le niveau d'accessibilité est à déplorer sont celles situées dans la botte du Hainaut, notamment Momignies, Froidchapelle, et Sivry-Rance. Il est à noter qu'aucune de ces communes ne dispose de point d'arrêt SNCB sur leur territoire et que, malgré la faible densité de population qui les caractérise, la fréquence de desserte des gares alentours reste très correcte (51 trains par jour, soit 30 trains IR, 15 trains L, et 6 trains P).

Dans les deux provinces du Brabant et en Région bruxelloise, une simple comparaison de l'accessibilité avec la province du Luxembourg ou avec celle de Liège nous montre que les habitants bénéficient également d'un bon niveau d'accessibilité par rapport au transport ferroviaire, sauf pour des régions plus rurales comme l'est du Brabant Wallon (communes de Ramillies et de Orp-Jauche).

Dans l'ensemble de la Région flamande, le nombre de communes situées à une distance temporelle de plus de 25 minutes du premier train est relativement faible en comparaison avec la Région Wallonne. Les très fortes densités de population et d'emplois qui caractérisent la Région flamande expliquent probablement le fait qu'elle bénéficie d'une meilleure desserte que le sud du pays (en outre, il est toujours plus rentable de desservir les régions les plus densément peuplées du pays).

Les rares communes flamandes qui se situent en marge du transport ferroviaire correspondent généralement à des milieux ruraux ou semi-ruraux. Ainsi, en Flandre Occidentale, des communes telles que Heuveland, Alveringem, ou Veurne (sud) sont distantes de plus de 25 minutes de tout train. En Flandre Orientale, il s'agit des communes de Sint-Laureins et de Assenede, alors qu'en province d'Antwerpen, ce sont les communes de Hoogstraten, Rijkevorsel et Ravels qui ont à déplorer un très faible niveau d'accessibilité. Enfin, dans le nord-est de la province du Limbourg, la plupart des communes disposent d'une très mauvaise accessibilité par rapport au transport ferroviaire. Même des petites villes comme Lommel ou Neerpelt, pourtant chacune équipées d'une gare, comptent des temps généralisés supérieurs à la quinzaine de minutes. En se déplaçant plus vers l'est de la province et en allant vers la ville de Maaseik, la situation empire et le temps généralisé excède même les 25 minutes, soit autant que le temps mis à partir de petites communes ardennaises (qui sont, par ailleurs, bien moins densément peuplées). En particulier, les communes concernées par cette situation sont celles de Bocholt, Peer, Meeuwen-Gruitrode, Bree, Maaseik, Kinrooi, et Dilsen-Stokkem. Certes, pour certaines personnes habitant dans le nord-est du Limbourg, la possibilité de prendre le train à partir d'une gare hollandaise existe, mais le temps de trajet en train pour ensuite rejoindre la Belgique est relativement long⁷², ce qui rend la situation du Park&Ride vers une gare belge plus avantageuse.

En **période de pointe**, la Carte 45 nous montre que, conformément à l'attente, la perte d'accessibilité due au phénomène de congestion routière est plus importante en Flandre qu'en Wallonie. En effet, lorsqu'on passe d'une période creuse à une période de pointe, nous constatons que le temps généralisé varie très peu pour certaines communes wallonnes ; par rapport à la période creuse, le nombre de communes **supplémentaires** qui dépassent les 25 minutes de temps généralisé n'est pas plus important en Wallonie qu'en Flandre. Nous pouvons effectivement voir sur la Carte 45 que l'extension des zones les plus périphériques (c'est-à-dire supérieures à 25 minutes de temps généralisé) est bien plus forte dans le nord du

⁷² A titre d'exemple, le temps de trajet en train entre les gares d'Echt (Pays-Bas) et de Visé (Belgique) est d'environ une heure.

pays que dans le sud. Ainsi, **en Région wallonne**, les autres communes qui dépassent désormais les 25 minutes sont les suivantes :

- Province du Luxembourg : Fauvillers, Vaux-sur-Sûre, Erezée, Tenneville (partie est de la commune), Léglise, Paliseul, Musson et Aubange.
- Province de Liège : Stavelot, Ouffet, Anthisnes, Clavier, Bassenge (nord), et Wasseiges.
- Province de Namur : Hastières (sud-ouest), Mettet (sud), et Eghezée (nord).
- Province du Hainaut : Chimay, Beaumont, Comines-Warneton (ouest), et Honnelles.
- Province du Brabant Wallon : Ramillies, Orp-Jauche, et Longueville (commune de Chaumont-Gistoux).

Au contraire, **en Flandre**, la liste des communes à excéder les 25 minutes de temps généralisé s'est très fortement allongée lorsqu'on passe en période de pointe. En effet, nous pouvons observer sur la Carte 45 que le nord du pays est caractérisé par une extension très marquée de ses zones périphériques (c'est-à-dire situées au delà de la valeur seuil de 25 minutes). Ainsi, rien qu'en Flandre Occidentale, les communes supplémentaires qui sont désormais comptées comme périphériques sont Langemark-Poelkapelle, Zonnebeke, Poperinge (nord), Koksijde, Nieuwpoort, Middelkerke, Gistel, Lo-Reninge, Koekelare, Oudenburg, Ledegem, Moorslede, Zwevegem (sud), Wielsbeke, et Dentergem. En Flandre Orientale, il s'agit principalement de Kaprijke, Evergem (nord), Zelzate, Wachtebeke, Beveren (nord), et Sint-Gillis-Waas (nord). En province d'Antwerpen, les communes de Brecht, Malle, Antwerpen (nord), Zoersel, Schilde, Merksplas, Beerse, Lille (ouest), Vosselaar, Arendonk, et Westerlo font également partie de la « liste noire ». Dans le Brabant Flamand, seules les communes de Geetbets, Linter, et Kortenaeken sont concernées. Et enfin, en province du Limbourg, l'extension de la zone dite périphérique se fait au travers des communes de Hamont-Achel, Maasmechelen, Lanaken, Voeren, Ham, et Nieuwerkerken.

4.3. Critique des résultats

Les **avantages** associés à l'analyse de l'accessibilité des passagers par rapport au transport ferroviaire sont les suivants :

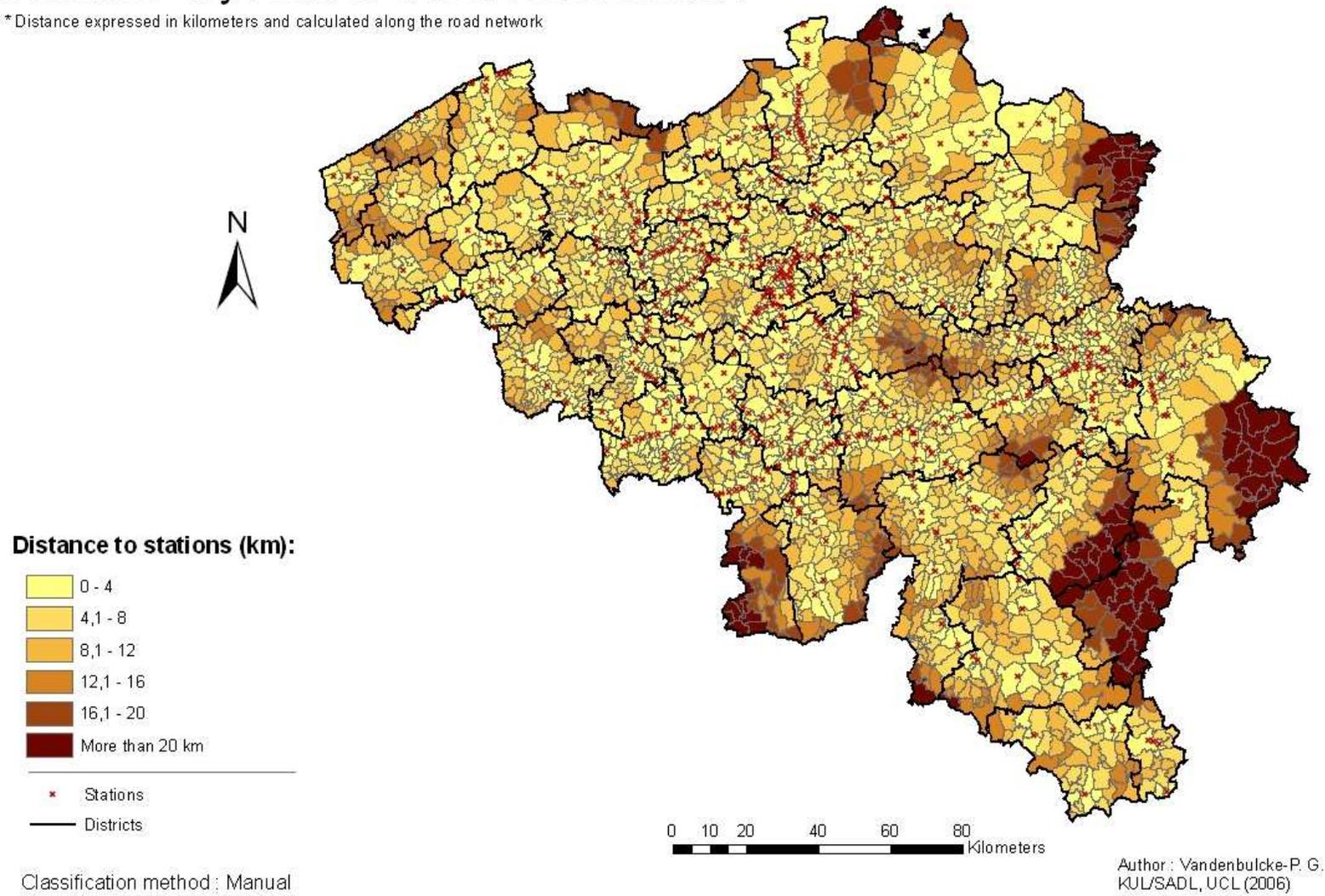
- i. La comparaison entre le temps de trajet en heure creuse et en heure de pointe vers les gares nous montre quelles sont les **régions** qui sont **les plus pénalisées par la congestion routière**. En général, on pourra remarquer que ce sont souvent les personnes se déplaçant dans les villes qui perdent le plus de temps pendant les heures de pointe.
- ii. L'**intégration de la fréquence** (exprimée en nombre de trains par gare) dans le calcul de l'accessibilité au transport ferroviaire nous donne une meilleure approche de la réalité de desserte de certaines communes. En effet, la proximité par rapport à une gare SNCB n'est pas le seul facteur permettant de dire qu'une commune a une meilleure accessibilité qu'une autre par rapport au transport ferroviaire.
- iii. Outre les régions urbaines, **les régions rurales subissent également les conséquences de la congestion routière**. En effet, les personnes qui habitent dans des petits villages accumulent, au fil de leur itinéraire, un certain temps qui correspond à une somme de pertes de temps. Les cartes dressant l'accessibilité aux gares dans les deux Brabant et en Région bruxelloise sont, en ce sens, très intéressantes à analyser et montrent une extension des zones périphériques (de plus de 15 minutes) lorsqu'on passe des heures creuses aux heures de pointe.

Les **inconvénients** associés à l'analyse de l'accessibilité des passagers par rapport au transport ferroviaire sont les suivants :

- i. Malgré que la comparaison entre les heures creuses et les heures de pointe montre bien les régions saturées par le trafic routier, **les résultats posent toutefois problème pour des régions urbaines à densités** (de population et d'emploi) élevées comme Bruxelles. Même s'il est vrai que les principales voies d'accès et le ring de Bruxelles sont nettement plus problématiques (au niveau du trafic) que la ville elle-même, le modèle semble sous-estimer le temps de parcours réellement effectué en période de congestion. Le problème se retrouve en fait dans la forme de la courbe d'impédance, qui finit par arriver à saturation (ou à capacité) après un niveau de densité déterminé. Idéalement, il faudrait calibrer le modèle à des données empiriques (relevées pour des heures de pointe).
- ii. **Le voyageur n'agit pas toujours de façon rationnelle et ne va parfois pas à la gare la plus proche.** La méthode du temps généralisé permet de répondre en partie à ce problème, notamment en tenant compte de la fréquence de chacune des gares belges, mais d'autres variables (présence de parkings, confort et desserte de la gare, chaînes de déplacement, ...) devraient également être prises en compte afin d'approcher au mieux la réalité. Moyennant plus de temps, certaines variables supplémentaires devraient entrer en ligne de compte et être intégrées dans le calcul du temps généralisé.
- iii. Les **différents types de liaison** (IC, IR, INT, L, P, ...) ne sont pas pris en compte dans l'analyse. Idéalement, des pondérations devraient être attribuées à chacune des liaisons.

Distance* by road to the closest station

* Distance expressed in kilometers and calculated along the road network

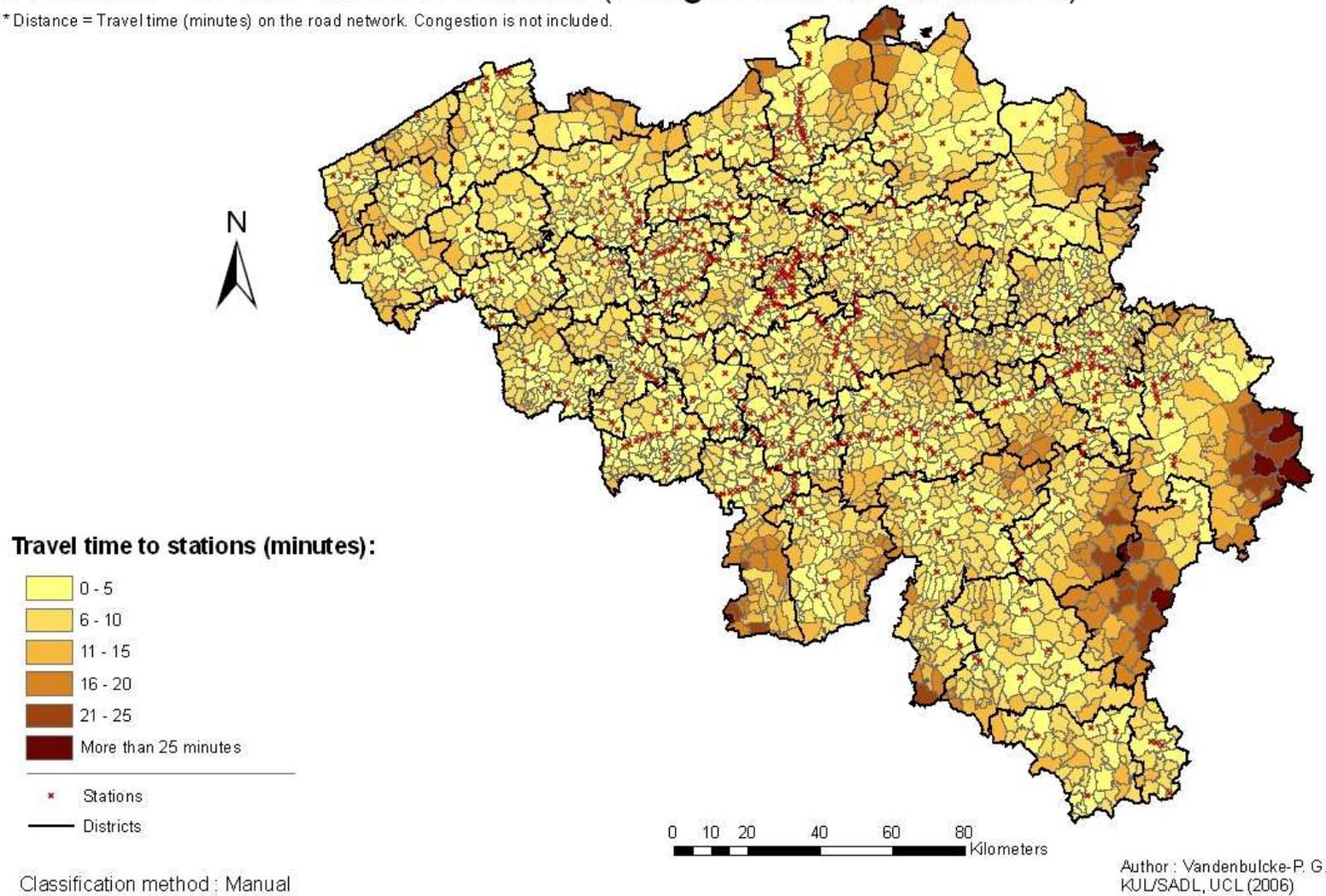


Classification method : Manual

Carte 35 : Distance à la gare la plus proche

Distance* to the closest station (congestion not included)

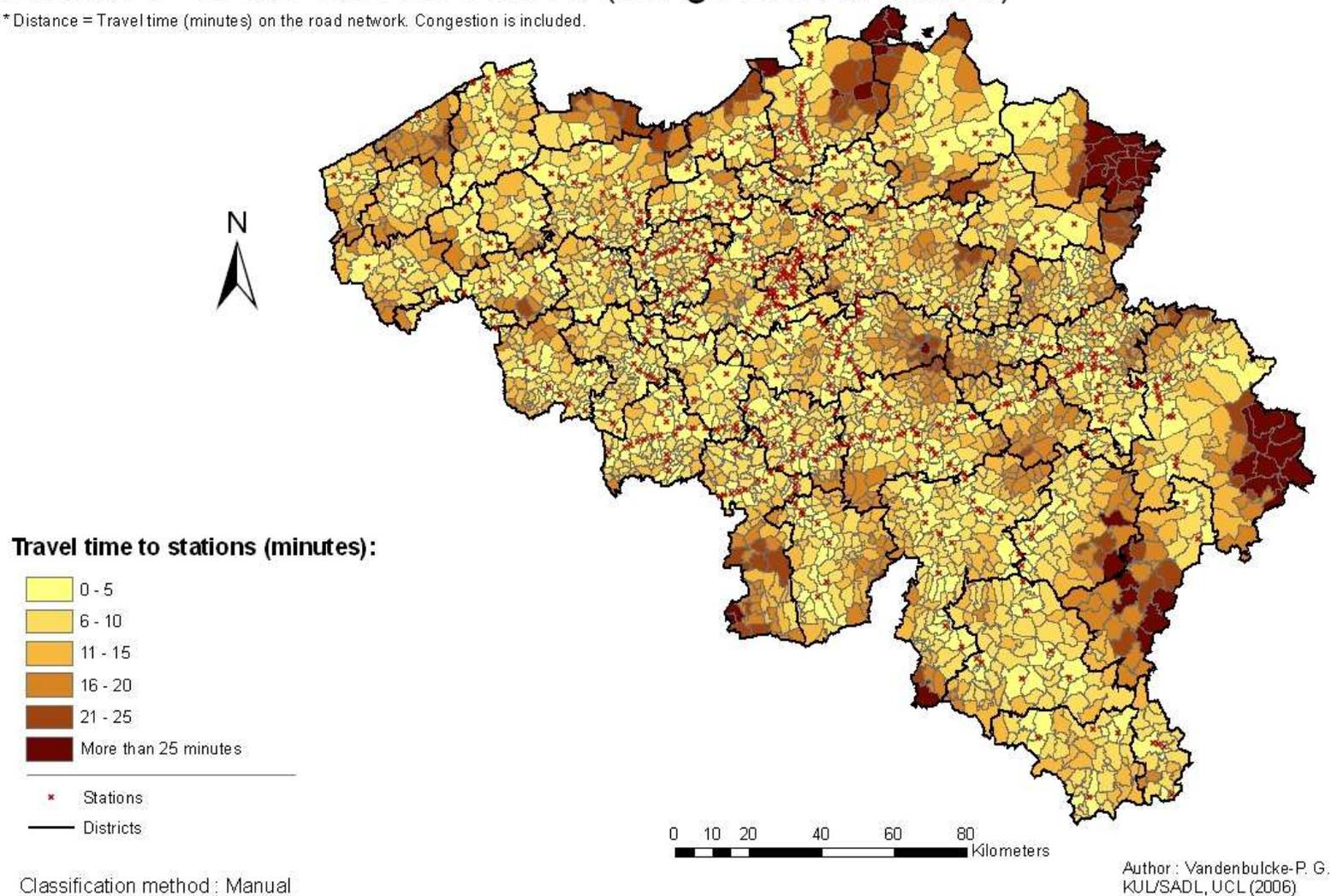
*Distance = Travel time (minutes) on the road network. Congestion is not included.



Carte 36 : Temps de parcours à la gare la plus proche, pendant les heures creuses

Distance* to the closest station (congestion included)

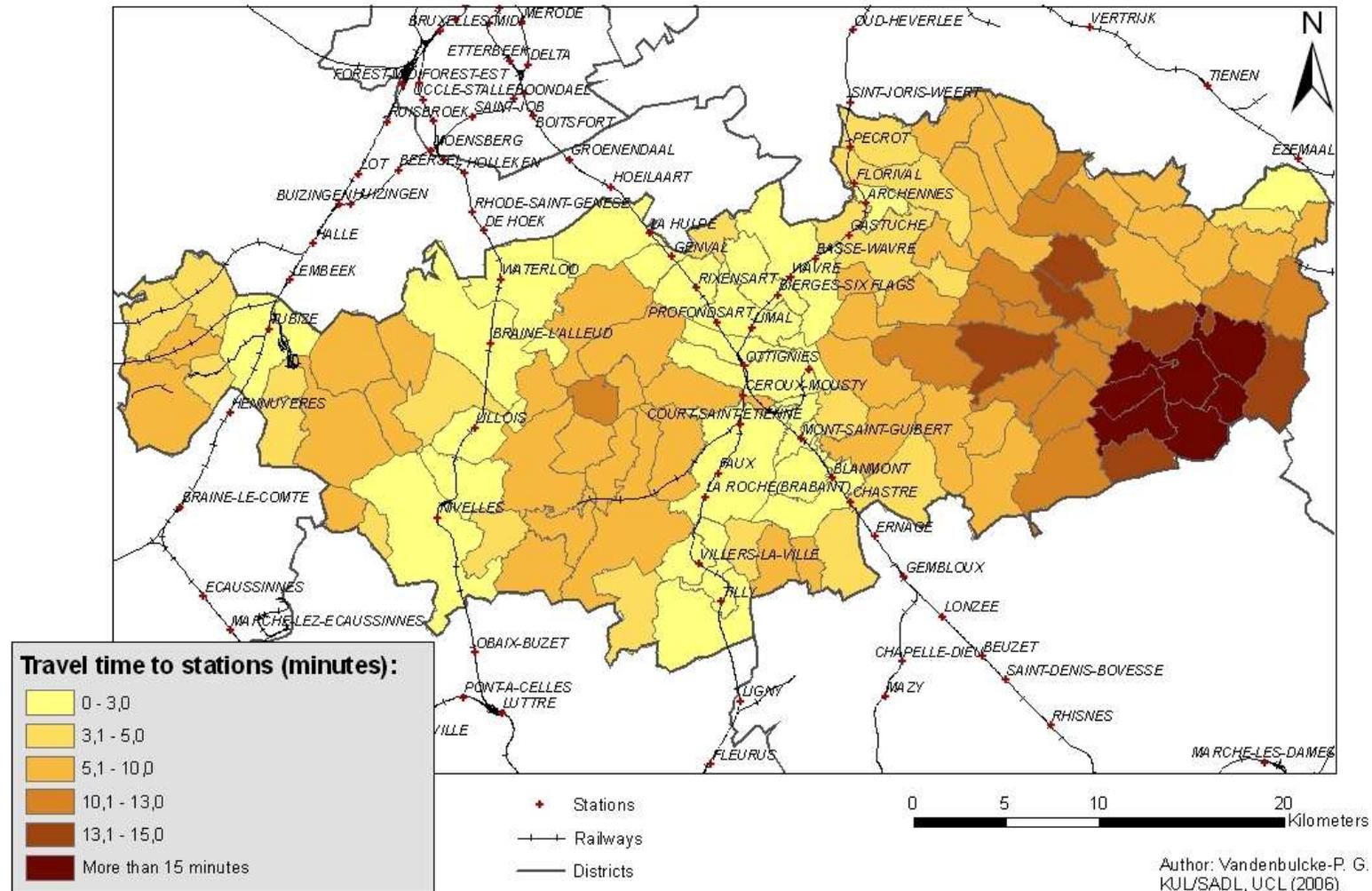
*Distance = Travel time (minutes) on the road network. Congestion is included.



Carte 37 : Temps de parcours à la gare la plus proche, pendant les heures de pointe

Distance* to the closest station in Brabant Wallon (congestion not included)

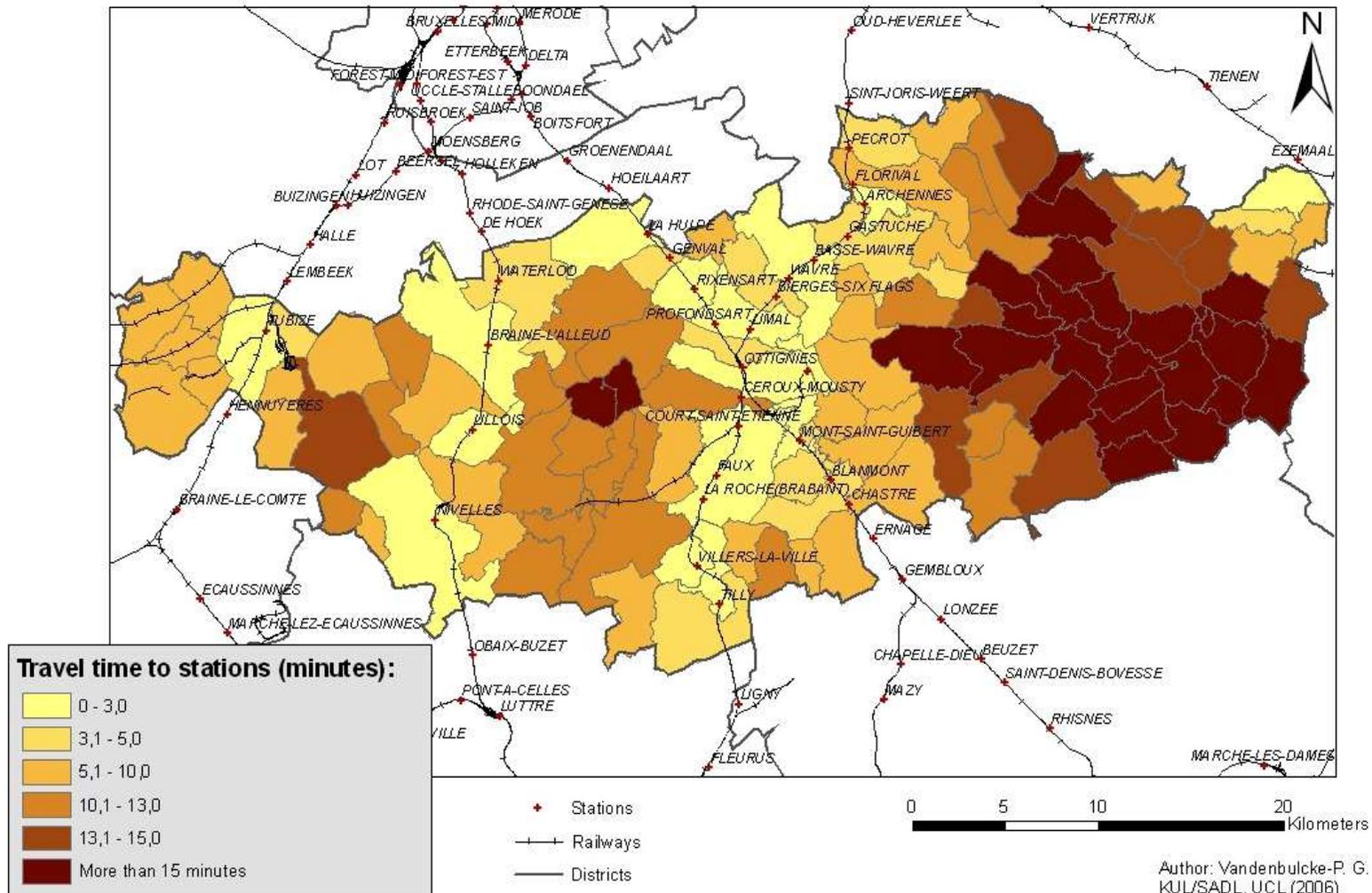
*Distance = Travel time (minutes) along the road network. Congestion is not included.



Carte 38 : Brabant Wallon – Temps de parcours à la gare la plus proche, pendant les heures creuses

Distance* to the closest station in Brabant Wallon (congestion included)

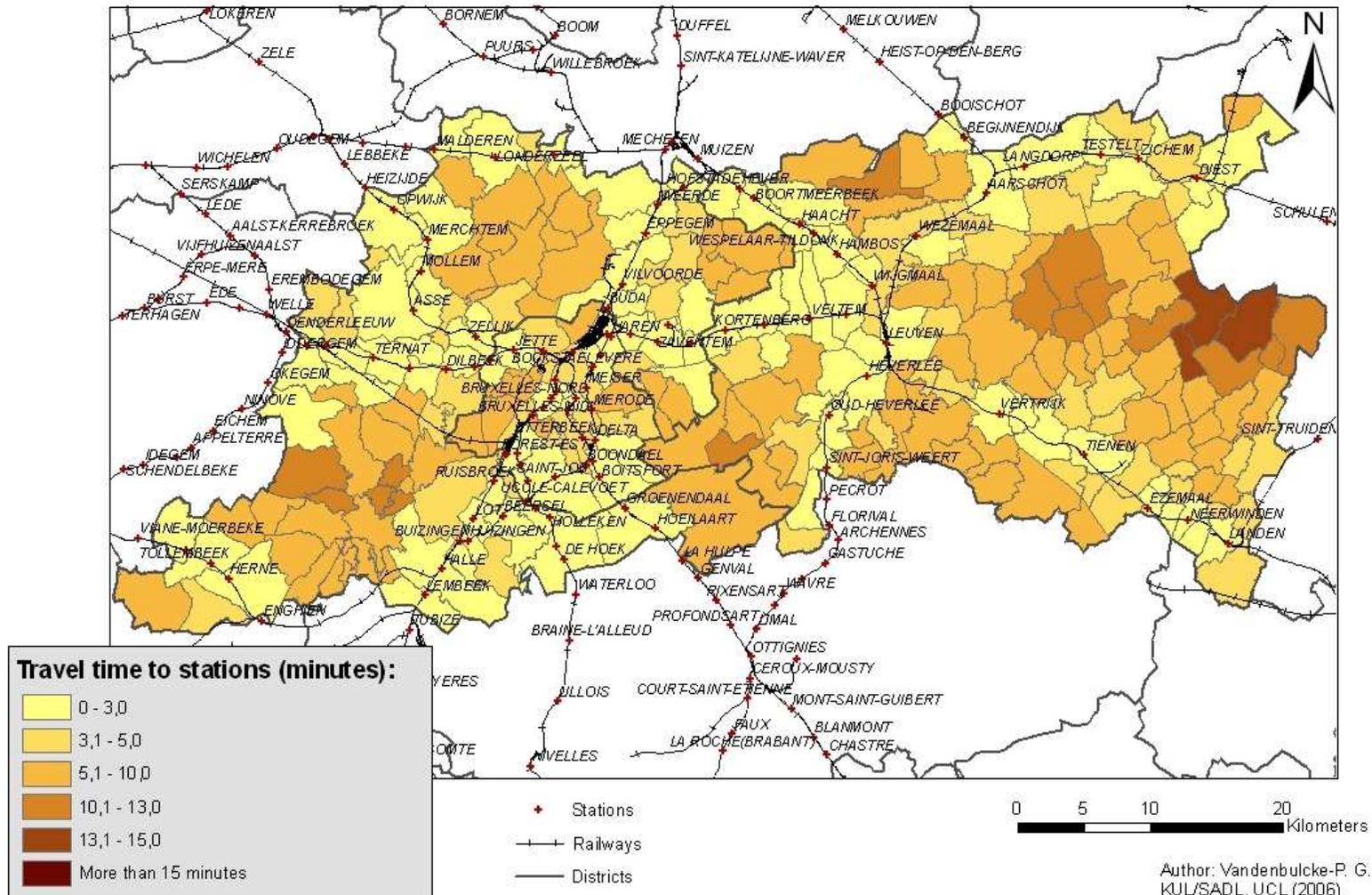
*Distance = Travel time (minutes) along the road network. Congestion is included.



Carte 39 : Brabant Wallon – Temps de parcours à la gare la plus proche, pendant les heures de pointe

Distance* to the closest station in Vlaams Brabant and Brussels (congestion not included)

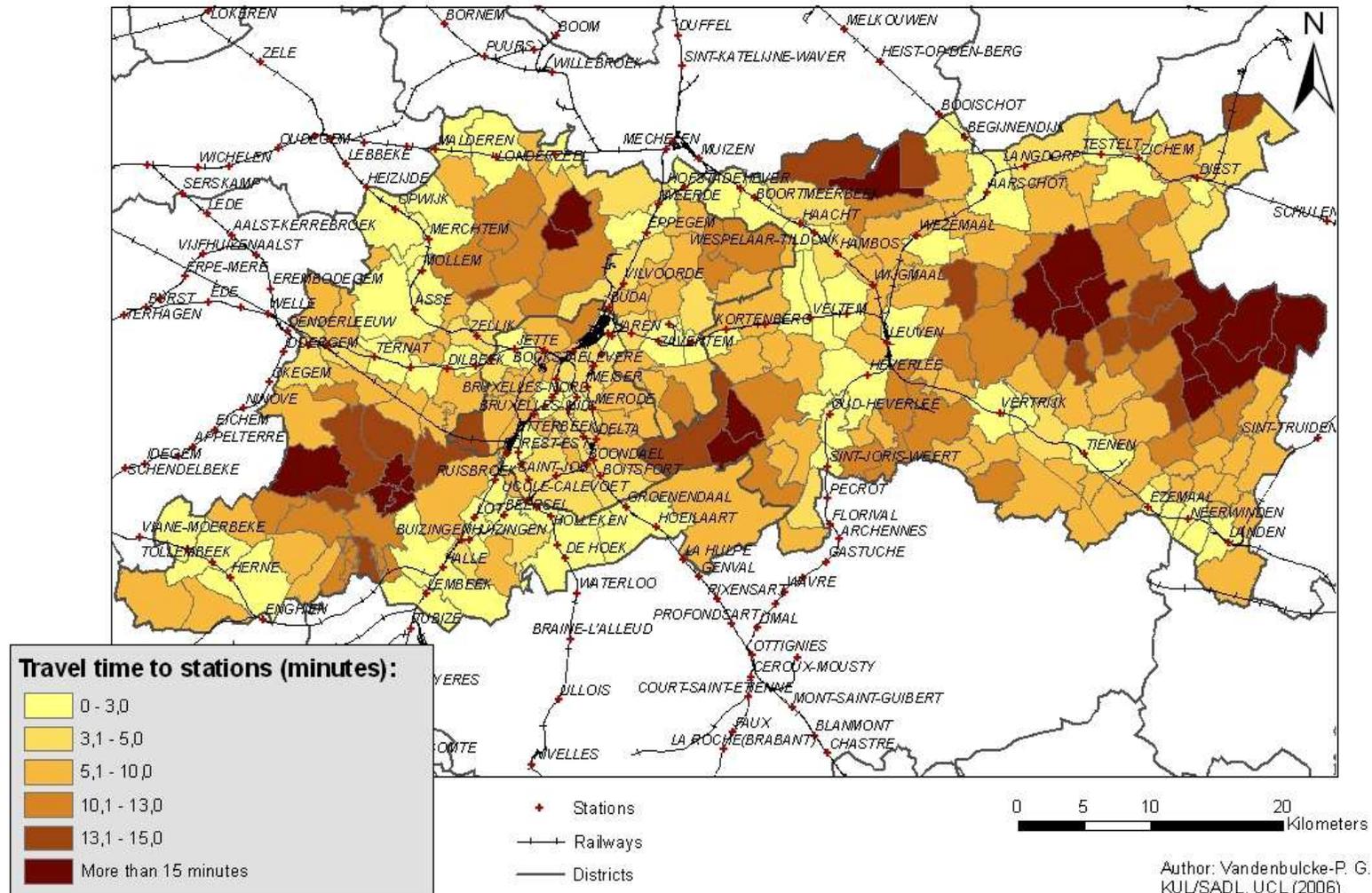
*Distance = Travel time (minutes) along the road network. Congestion is not included.



Carte 40 : Brabant Flamand et Région bruxelloise – Temps de parcours à la gare la plus proche, pendant les heures creuses

Distance* to the closest station in Vlaams Brabant and Brussels (congestion included)

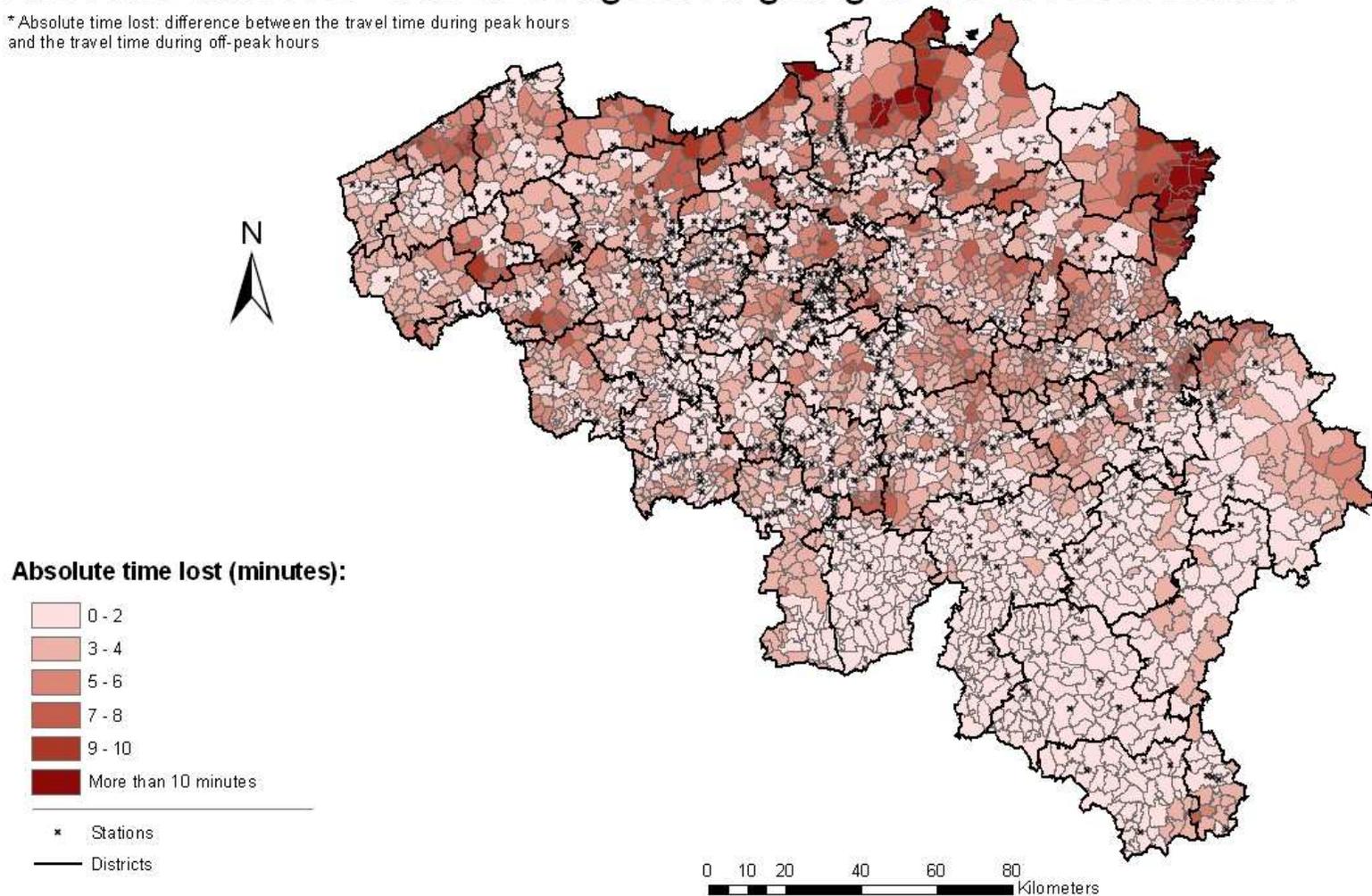
*Distance = Travel time (minutes) along the road network. Congestion is included.



Carte 41 : Brabant Flamand et Région bruxelloise – Temps de parcours à la gare la plus proche, pendant les heures de pointe

Absolute time lost* due to congestion going to the closest station

* Absolute time lost: difference between the travel time during peak hours and the travel time during off-peak hours



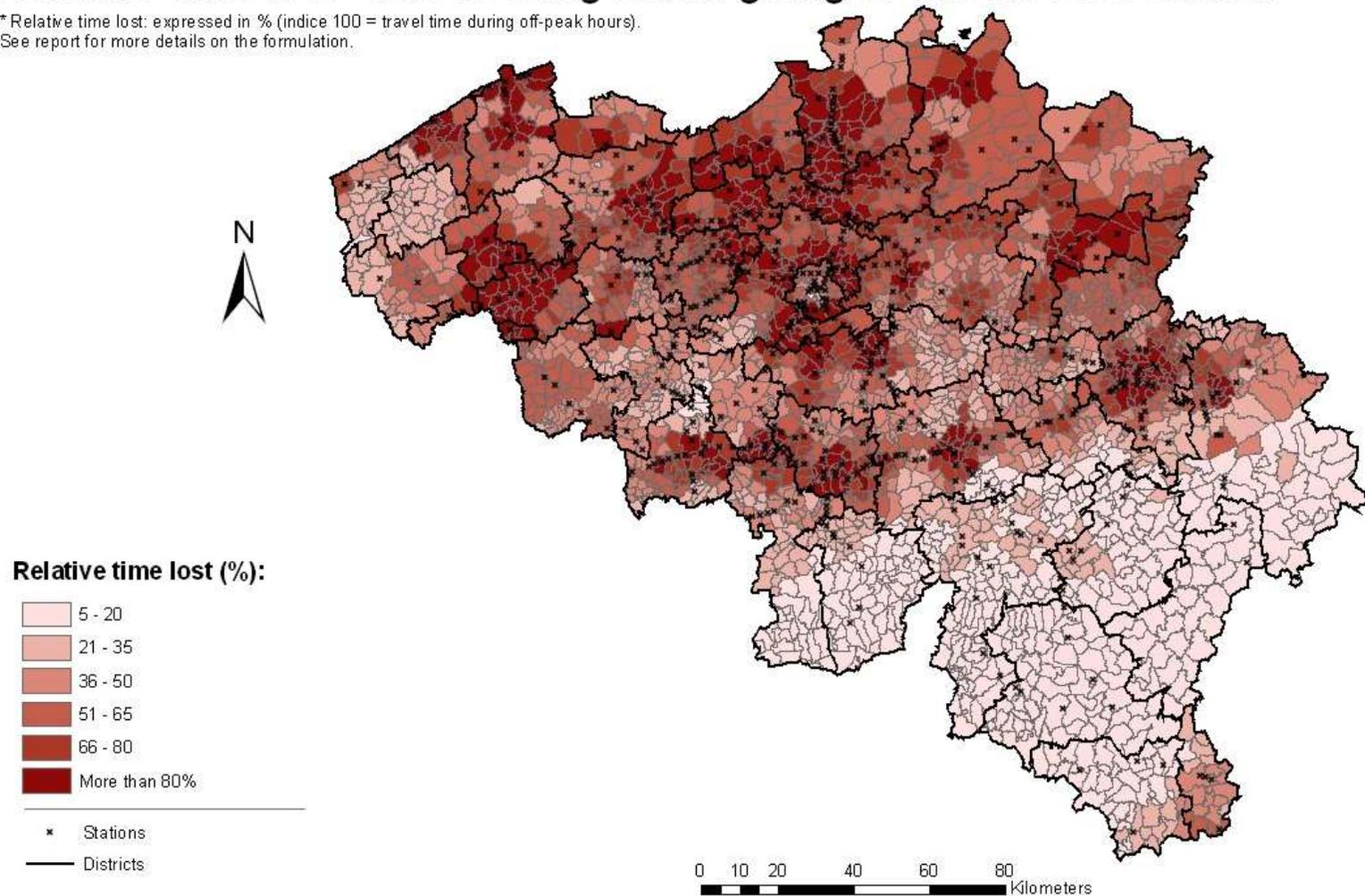
Classification method : Manual

Author : Vandebulcke-P. G.
KUL/SADL, UCL (2006)

Carte 42 : Gares voyageurs (SNCB) – Différence absolue entre les heures de pointe et les heures creuses

Relative time lost* due to congestion going to the closest station

*Relative time lost: expressed in % (indice 100 = travel time during off-peak hours).
See report for more details on the formulation.



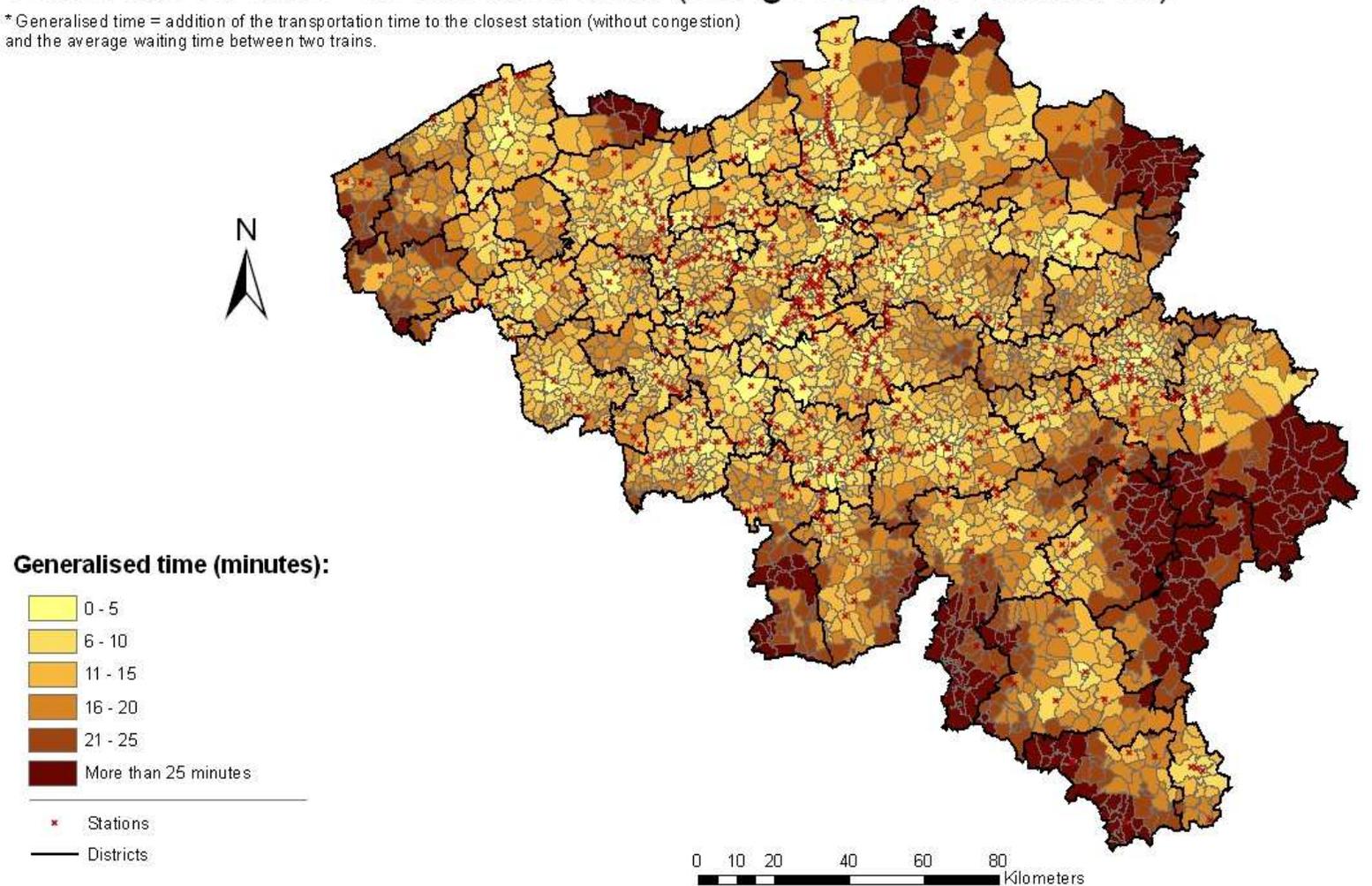
Classification method: Approximation of Natural Breaks

Author : Vandenbulcke-P. G.
KUL/SADL, UCL (2006)

Carte 43 : Gares voyageurs (SNCB) – Différence relative entre les heures de pointe et les heures creuses

Generalised time* to the first train (congestion not included)

* Generalised time = addition of the transportation time to the closest station (without congestion) and the average waiting time between two trains.



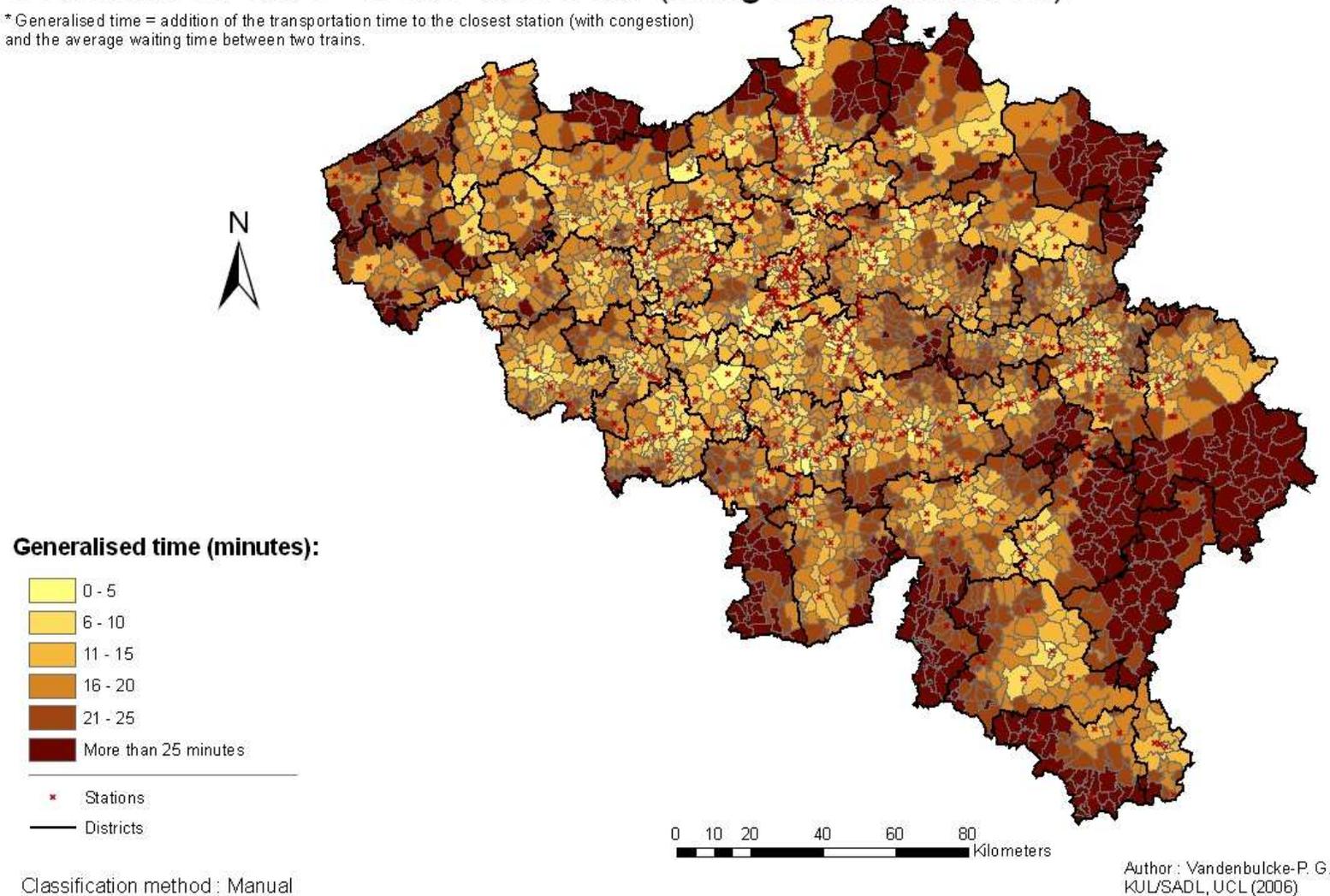
Classification method : Approximation of Natural Breaks

Author : Vandebulcke-P. G.
KUL/SADL, UCL (2006)

Carte 44 : Temps généralisé aux gares voyageurs, pendant les heures creuses

Generalised time* to the first train (congestion included)

*Generalised time = addition of the transportation time to the closest station (with congestion) and the average waiting time between two trains.



Carte 45 : Temps généralisé aux gares voyageurs, pendant les heures de pointe

5. Accessibilité ferroviaire des gares IC : structure fonctionnelle du réseau ferroviaire

5.1. Données utilisées

Les différentes données **utilisées** dans cette analyse sont les suivantes :

- Base de données sur les différentes lignes ferroviaires belges (20.367 arcs). Source : KUL/SADL.
- Base de données relative à la localisation GPS des gares passagers. Source : SNCB, 2005.
- Horaires de la SNCB, valables entre le 11.12.2005 et le 09.12.2006 (Source : Site Internet de la SNCB ; Adresse URL : <http://www.b-rail.be/>).

5.2. Méthodologie et différentes étapes du travail

Avant d'aborder la méthodologie, il convient à nouveau de donner les informations suivantes:

- **Aire d'étude** : Belgique
- **Echelle d'analyse** : gares IC (SNCB)
- **Logiciels informatiques** utilisés : ArcGIS 9.1 (extension : Network Analyst) et SAS Enterprise Guide 3.0.

5.2.1. Méthodologie et construction des matrices OD

L'**objectif** est ici d'analyser l'effet de l'exploitation fonctionnelle du réseau⁷³ et d'évaluer dans quelle mesure cette dernière compense ou accentue les disparités propres à sa géométrie. En d'autres termes, nous voulons voir **comment la SNCB compense (ou accentue) l'éloignement géométrique de certaines gares au travers de l'exploitation du réseau ferroviaire** (par la mise en place des horaires, par exemple). Malgré le fait qu'une gare comme Arlon soit très éloignée de toute autre gare belge, l'exploitation faite par la SNCB peut introduire un correctif partiel à l'éloignement relatif d'Arlon par rapport à toutes les autres gares belges ; elle peut compenser l'éloignement spatial d'Arlon par un temps de parcours relativement court par rapport aux autres liaisons ferroviaires.

De l'abstraction du réseau ferroviaire ont été dérivées **deux matrices carrées**, dites « des plus courts chemins ». La première a pu être construite très rapidement, grâce au Network Analyst, et reprend les relations en terme de **distance kilométrique**. Par contre, la deuxième a dû être construite manuellement par calcul des **temps de parcours minimum entre les nœuds du réseau**. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur les horaires officiels de la SNCB, valables entre le 11.12.2005 et le 09.12.2006. Notons encore que, pour chacun des couples *ij* de gares, le calcul du temps de parcours minimum s'est fait sur base de toutes les liaisons effectuées un même jour de la semaine (**jour ouvrable**). En outre, puisque nous nous sommes basés sur les horaires de la SNCB, les **temps d'attente occasionnés par chacune des correspondances** (s'il y a lieu) sont pris en compte dans le temps de parcours entre *i* et *j*.

⁷³ Ce qui peut être matérialisé par le service rendu aux voyageurs.

Si n ($n > 0$) est le nombre de gares retenu pour l'analyse, alors le nombre N de liaisons ferroviaires à aller consulter sur le site Internet de la SNCB (correspondant chacune à une « case » ij de la matrice) s'élève à : $N = n^2$. Puisque la diagonale de la matrice correspond à la prise en compte d'origines et de destinations semblables, le nombre de liaisons à prospecter est un peu moins élevé ($n^2 - n < n^2$) mais, dans le cas où le nombre de gares est élevé, cela ne simplifie en rien le problème. En raison du temps limité dont nous disposons pour faire le travail, nous avons donc décidé de diviser la matrice par la diagonale des zéros et de ne considérer qu'un **seul sens de déplacement des trains** (par exemple, de Antwerpen-Centraal vers Bruxelles-Midi, et non de Bruxelles-Midi vers-Antwerpen-Centraal). Nous supposons donc que, quel que soit le sens pris par le voyageur sur une ligne, le temps de parcours ne change pas. Formellement, le nombre de couples ij que nous devons calculer manuellement devient :

$$N = \frac{n^2 - n}{2}$$

Bien que simplificatrice, cette hypothèse demeure cependant très **proche de la réalité** puisque la différence de temps de parcours entre deux sens opposés (entre deux mêmes nœuds) n'excède généralement pas 0,7 %. Par conséquent, le fait de considérer les gares comme origines ou comme destinations n'influence pratiquement pas les résultats obtenus (Van Deynze, 2001⁷⁴).

En plus de ne considérer qu'un seul sens de déplacement entre deux gares, nous n'avons également retenu que les **gares IC** de Belgique. La raison de ce choix est notamment liée au nombre limité de gares IC (106 nœuds) et à l'importance de ces dernières au sein du réseau ferroviaire. En effet, les six nœuds ferroviaires les plus importants du réseau correspondent tous à des gares IC et sont situés à la croisée d'axes importants. Il s'agit des gares de Bruxelles Central (environ 65.724 voyageurs en semaine), Gent-Sint-Pieters (38.841), Antwerpen Centraal (20.978), Namur (16.264), Liège Guillemins (13.130), et Charleroi Sud (11.460) (Sources : SNCB, comptage d'octobre 2004).

Dans notre matrice temporelle des plus courts chemins, l'utilisation de 106 gares belges (IC) requiert ainsi le calcul manuel de $N = \frac{n^2 - n}{2} = \frac{11236 - 106}{2} = 5565$ couples. Si nous avions repris l'ensemble des gares belges pour construire la matrice (soit, 539 nœuds), le nombre de couples possibles aurait été de 144.941, ce qui n'est pas faisable dans les limites du temps qui nous a été imparti⁷⁵.

5.2.2. Effets de l'exploitation du réseau par la SNCB

5.2.2.1. Accessibilité kilométrique et accessibilité temporelle des gares IC

Afin d'analyser les effets de l'exploitation du réseau par la SNCB, nous appliquerons une **analyse de régression** mettant en relation l'accessibilité temporelle par rapport à l'accessibilité en termes de distance parcourue sur le réseau. En effet, une comparaison entre

⁷⁴ L'auteur du papier signale une variation maximale de temps de parcours de 2,5 % mais, suite à l'identification de quelques errata mineures dans l'encodage des temps de parcours, il semble finalement que cette erreur atteigne un maximum de 0,7 %.

⁷⁵ En étant seul à parcourir les pages du site et à faire les calculs, il faudrait plusieurs mois de travail pour construire la matrice.

les distances-temps (axe des ordonnées) et les distances kilométriques (axe des abscisses) permettra de mettre en évidence les disparités dans les dessertes des différentes gares IC. L'objectif est donc d'analyser quelle compensation temporelle a été apportée par la SNCB pour corriger l'effet de la hiérarchisation des nœuds induite par la structure géométrique du réseau.

A partir du modèle régressif (construit sur base des deux séries de données, temporelles et kilométriques), nous pourrions produire une **droite de régression linéaire** et calculer des résidus (écarts entre la droite et les points). Les **résidus positifs** du modèle correspondront ainsi aux pertes d'accessibilité relative, alors que les **résidus négatifs** correspondront aux gains d'accessibilité relative. En d'autres termes, lorsque les résidus sont positifs pour une gare IC, celle-ci sera alors pénalisée par la SNCB en regard de sa position au sein du réseau. Inversement, lorsque les résidus sont négatifs, la gare IC considérée bénéficiera d'un service ferroviaire avantageux par rapport à sa position sur le réseau.

Puisque notre modèle régressif est basé sur l'accessibilité temporelle et l'accessibilité kilométrique, nous devons donc produire d'une part un indice utilisant des temps de parcours entre les gares, et d'autre part un indice utilisant des distances kilométriques. Pour ce faire, l'indicateur d'accessibilité qui sera utilisé dans le modèle régressif est l'**indice de Shimbel** (pour plus de détails, voir section 3.2.2.). Dans le cadre de cette étude, il vise à mesurer l'accessibilité nodale à partir des matrices des chemins les plus courts. Lorsqu'on calcule cet indice pour des **distances kilométriques**, nous pouvons observer que des gares comme Arlon, Marbehan, ou Libramont sont très distantes de toutes les autres gares. D'une manière générale, on constate d'ailleurs que ce sont les gares situées en périphérie du réseau qui sont les plus distantes de toutes les autres gares, et donc les moins bien localisées au sein du réseau ferroviaire belge. C'est pourquoi des gares comme Zeebrugge, Oostende, Mouscron, Tournai, Quiévrain, Arlon, Welkenraedt, Tongeren, ou Hasselt sont caractérisées par des valeurs élevées de l'indice de Shimbel. Au contraire, la position centrale de certaines gares belges – notamment à Bruxelles (Schaerbeek, Bruxelles-Nord/Central/Midi/Luxembourg) – confère une valeur d'accessibilité très avantageuse par rapport aux autres gares.

En termes de **distances temporelles**, la matrice des temps de parcours donne des résultats relativement semblables à ceux obtenus dans le cas des distances kilométriques : en effet, l'indice de Shimbel montre que les gares les plus accessibles sont situées dans la Région bruxelloise (ou à proximité), alors que les moins accessibles se retrouvent à nouveau en périphérie du réseau. Cet indicateur, qui mesure la position relative des gares au sein du réseau, n'est donc qu'une manière parmi d'autres pour exprimer la centralité de chacun des nœuds du réseau (Arnold et Sandraps, 1998). Ainsi, en termes de distances temporelles, Bruxelles Nord est le centre de gravité du réseau. A l'opposé, toutes les gares situées au sud du sillon Sambre-Meuse (et plus particulièrement Arlon) pâtissent de la plus mauvaise accessibilité temporelle du réseau ferroviaire. D'autres gares – notamment celles situées en province de Limbourg ou dans l'arrondissement de Ieper – accusent également un faible niveau d'accessibilité temporelle par rapport aux autres gares belges.

Autant en ce qui concerne l'accessibilité temporelle que l'accessibilité kilométrique, les résultats que nous avons obtenus ici sont très simplifiés et conformes à l'attente. Néanmoins, cette analyse nous a quand même permis d'identifier plusieurs **facteurs qui affectent la centralité des gares IC au sein du réseau ferroviaire**, en particulier :

- La position relative des gares au sein de ce même réseau, et,
- La structure géométrique et la densité du réseau

- La diversité des moyens techniques déployés sur le réseau (par exemple, certaines lignes disposent de trains plus rapides que d'autres).

5.2.2.2. Construction du modèle régressif et calcul des résidus studentisés

Afin d'évaluer l'effet de l'exploitation de la SNCB sur l'accessibilité des gares IC, les résultats que nous avons obtenus sur l'accessibilité temporelle et kilométrique sont comparés par analyse de régression. Graphiquement, les données relatives aux distances ferroviaires parcourues (accessibilité kilométrique) sont placées en abscisse et les données temporelles (temps de parcours entre une gare i et toutes les autres gares j) sont placées en ordonnées. Le graphique ainsi obtenu est illustré par la figure 14.

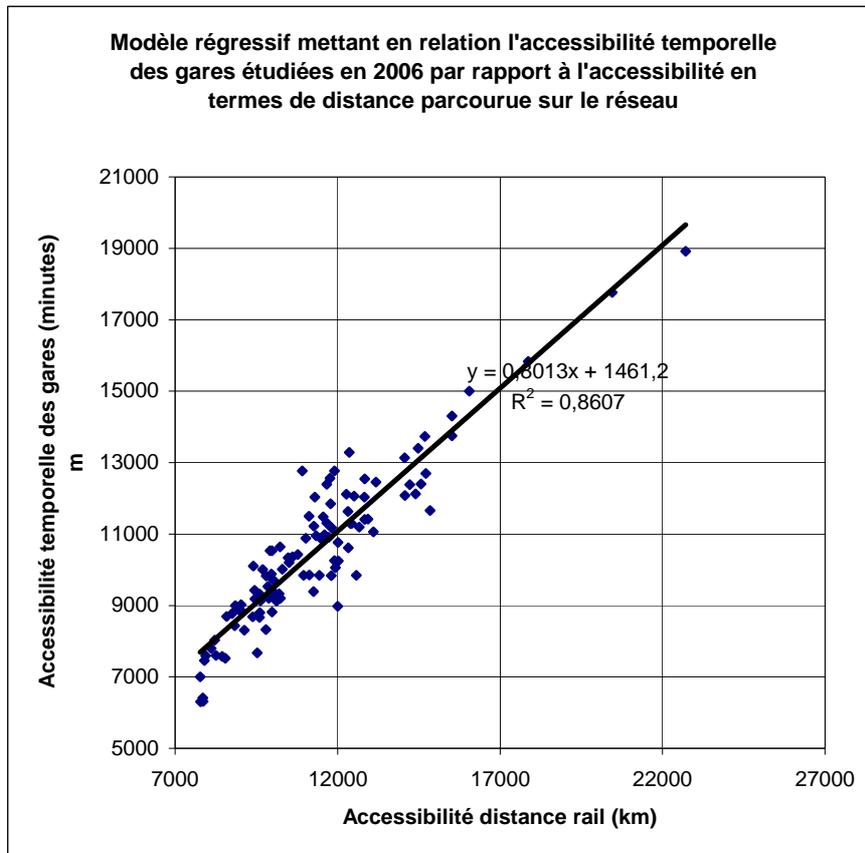


Figure 14 : Modèle régressif mettant en relation l'accessibilité temporelle des gares étudiées en 2006 par rapport à l'accessibilité en termes de distance parcourue sur le réseau

Nous constatons qu'il existe une **relation** entre l'accessibilité temporelle (notée y) et l'accessibilité en termes de distances parcourues sur le réseau (notée x). Cette relation est mise en évidence par la construction d'une droite de régression (linéaire) passant par le nuage de points. L'équation de cette droite est la suivante :

$$y = 1461,155 + 0,8013 \cdot x$$

(365,49) (0,03161)
4,00*** 25,35***

Et, $n = 106$
 $R^2 = 0,8607$
 $R^2_{adj} = 0,8593$

$$F\text{-value} = 642,47 ***$$
$$[Pr. > F] < 0,0001$$

On constate que le modèle régressif est significatif et que les résultats du test pratiqué conduisent à rejeter l'hypothèse nulle⁷⁶. De plus, la valeur élevée du coefficient de détermination R^2 (0,8607) nous permet de confirmer que la droite de régression colle très bien au nuage de points.

Bien qu'il soit significatif, le modèle ne peut toutefois **pas être utilisé à des fins prédictives**. L'équation établie par le modèle atteste simplement d'un ajustement, qui permet de caractériser chaque gare IC par une analyse des résidus de la régression (Chesnais, 1991). Ainsi, l'écart dy mesuré entre l'équation de la droite et chaque point xy permet de déterminer l'effet de l'exploitation du réseau sur l'accessibilité de la gare IC considérée, et donc de caractériser chaque gare sur une échelle d'accessibilité. Cet écart, aussi appelé résidu, montre donc comment se positionne chaque gare par rapport à une « **moyenne d'exploitation** ». Notons que, afin de ne pas biaiser l'interprétation des résultats, nous n'utiliserons pas les résidus sous leur forme brute, mais plutôt sous leur forme studentisée.

Enfin, à titre informatif, un tableau illustrant le **classement des gares IC** est placé en annexe (voir Annexe 2). La deuxième colonne reprend le classement des gares en fonction de l'accessibilité temporelle, alors que la troisième colonne donne le classement des gares en fonction de l'accessibilité kilométrique (en terme de distances parcourues sur le réseau). La dernière colonne représente le classement des gares basé sur les valeurs des résidus studentisés. Les gares qui figurent parmi les premières positions du classement sont celles qui sont avantagées par l'exploitation du réseau par la SNCB. Inversement : celles qui se retrouvent dans les dernières positions sont, par contre, désavantagées par l'exploitation qui est faite du réseau.

5.2.2.3. Analyse des effets de l'exploitation du réseau par la SNCB

En observant la **carte** établie à partir **des résidus studentisés** (Carte 46) et en analysant la dernière colonne du tableau 4, nous constatons que l'exploitation du réseau – telle qu'elle a été appliquée entre décembre 2005 et décembre 2006 – favorisait certaines gares. Comme nous l'avons déjà évoqué auparavant, les résidus positifs (en rouge) correspondent à des pertes d'accessibilité relative et les résidus négatifs (en vert) soulignent des gains d'accessibilité. En d'autres termes, lorsque les résidus sont positifs, le service ferroviaire pénalise certains nœuds par rapport à leur position sur le réseau. Inversement : lorsque les résidus sont négatifs, le service ferroviaire avantage certains nœuds par rapport à leur position sur le réseau. Notons que cette pénalisation (ou cet avantage) varie proportionnellement en fonction de la valeur du résidu⁷⁷.

Au travers de l'analyse de la Carte 46, un premier aperçu nous est donné des effets de l'exploitation du réseau sur l'accessibilité des gares. Ainsi, nous remarquons que **la plupart des grands axes disposent d'un gain réel d'accessibilité comparativement à la distance parcourue sur le réseau**. Les axes concernés relient la plupart des grandes agglomérations

⁷⁶ Les *t*-valeurs correspondent aux chiffres suivies d'étoiles (significativité). Les chiffres entre parenthèses indiquent, quant à eux, les erreurs sur la moyenne (*standard error*).

⁷⁷ Ainsi, lorsqu'on va de la première à la 53^{ème} position dans le tableau des résidus, l'avantage donné par le service ferroviaire diminue jusqu'à devenir nul. Au-delà de la 53^{ème} position, il y a pénalisation croissante.

belges et correspondent généralement aux axes radiaux de Bruxelles. En particulier, il s'agit surtout des axes Bruxelles-Oostende, Bruxelles-Antwerpen, Bruxelles-Liège, Bruxelles-Charleroi, et Bruxelles-Mons. En effet, des villes comme Bruxelles, Liège, Antwerpen, Mechelen, Leuven, Gent, Brugge, ou Oostende bénéficient toutes d'un service ferroviaire avantageux par rapport à leur position sur le réseau. D'autres axes secondaires, tels que Oostende-Kortrijk, Gent-Kortrijk, ou celui partant de Liège et filant vers l'Allemagne, disposent également d'une très bonne desserte ferroviaire.

Malgré la très bonne performance de la plupart des axes radiaux de Bruxelles, **l'axe Bruxelles-Namur** (ligne 161) est le seul à se distinguer par un service ferroviaire très médiocre, probablement à cause de sa faible vitesse de référence (130 km/h) par rapport aux autres axes radiaux⁷⁸. En effet, nous constatons que des gares aussi importantes qu'Ottignies ou Gembloux pâtissent de faibles pertes d'accessibilité relative, contrairement à Namur qui bénéficie d'un service ferroviaire correct par rapport à sa position au sein du réseau. Bien que les résidus des gares d'Ottignies et de Gembloux atteignent des valeurs proches de la « moyenne d'exploitation », le service ferroviaire mis en place par la SNCB en 2006 a quelque peu pénalisé ces deux gares par rapport à leur position spatiale très favorable au sein du réseau. Alors qu'elle est la troisième gare wallonne en nombre de passagers et qu'elle représente un carrefour important du réseau ferroviaire belge, la gare d'Ottignies n'atteint que la 65^{ème} place du classement, alors que la gare de Namur fait nettement mieux en arrivant à la 41^{ème} position.

Le long de **l'axe Namur-Luxembourg** (ligne 162), la desserte ferroviaire mise en place par la SNCB pour les gares de Marloie, Libramont, Ciney et Jemelle est également médiocre. En effet, ces deux dernières sont classées 85^{ème} et 87^{ème} respectivement (voir Annexe 2), accusant ainsi des pertes d'accessibilité relative plus élevées que les gares de Marloie (76^{ème}) et de Libramont (55^{ème}). Le profil assez difficile de la ligne (certains tronçons atteignant une rampe de 16 pour mille) et la « faible » vitesse de référence (130 km/h) constituent probablement les raisons principales concourant au mauvais positionnement de ces quatre gares au sein du classement.

Quand on continue le long de la ligne Namur-Luxembourg (en direction du Grand-Duché), le service ferroviaire presté par la SNCB s'améliore significativement pour des gares aussi distantes⁷⁹ que Marbehan et Arlon. Le temps de parcours mis pour rejoindre ces deux gares est, en effet, très favorable en comparaison avec la distance kilométrique parcourue. Grâce au service ferroviaire très avantageux mis en place par la SNCB pour compenser l'éloignement de ces deux gares, Arlon se positionne à la quinzième place alors que Marbehan occupe la cinquantième place du classement.

Concernant **l'axe dorsal wallon**, l'accessibilité des gares IC est généralement proche de la « moyenne d'exploitation », sauf pour celles situées dans la **région frontalière de Quiévrain** (gares de Quiévrain, Thulin, Hainin, et Boussu). En effet, la position très décentrée de ces gares par rapport à l'ensemble du réseau n'est pas compensée par une meilleure offre de service par la SNCB. La demande relativement faible de ces gares (par rapport à d'autres gares IC) explique probablement le fait que la SNCB n'accorde pas beaucoup d'intérêt à leur offrir un meilleur niveau de desserte (le nombre de voyageurs varie entre 100 et 700 voyageurs par jour, selon les comptages effectués par la SNCB en octobre 2004). Néanmoins, la demande (exprimée en nombre de passagers par jour) n'explique pas toujours le fait que certaines gares soient mieux ou moins bien desservies que d'autres. En effet, les gares d'Ath

⁷⁸ La plupart des autres axes radiaux disposent, en effet, de vitesses supérieures ou égales à 140 km/h.

⁷⁹ Par rapport à l'ensemble du réseau ferroviaire.

et de Leuze sont des gares à forte demande mais pour lesquelles le niveau de desserte est relativement faible ; toutes deux occupent les très mauvaises 86^{ème} et 78^{ème} places du classement des résidus, respectivement. D'autres gares situées sur la dorsale wallonne et se trouvant en dessous de la moyenne d'exploitation sont les gares d'Andenne (90^{ème}) et de Statte (84^{ème}).

En Flandre, la plupart des gares qui sont pénalisées (ou mal desservies) par la SNCB sont situées en **province du Limbourg**. Avec la région frontalière de Quiévrain, il semble que ce soit l'une des régions les plus mal desservies par le transport ferroviaire en Belgique. Dans le classement des résidus, on remarque en effet que des gares comme Hasselt, Sint-Truiden, ou Tongeren sont classées 77^{ème}, 88^{ème} et 93^{ème} respectivement. La gare de Genk, quant à elle, occupe la dernière place du classement (106^{ème}) et est donc la gare IC la moins bien desservie de tout le Royaume. Outre la très faible densité du réseau dans cette partie du pays, on notera aussi que les lignes transitant par (et arrivant vers) les gares limbourgeoises ont une vitesse de référence relativement basse (120 km/h) par rapport aux autres lignes desservant les gares IC.

Enfin, d'autres gares situées dans le **nord-est du Brabant Flamand** (gares de Diest, Zichem et Langdorp) ainsi que dans le **nord de la Flandre Orientale** (gares de Zele, Sinaai, et Belsele) pâtissent d'un mauvais niveau de desserte comparativement à leur position au sein du réseau. Oudenaarde et Lede sont également des gares pour lesquelles la desserte est pénalisée par la SNCB, probablement à cause des faibles vitesses de référence des lignes (120 km/h) transitant par ces gares. Un autre exemple de ligne à faible vitesse de référence (120 km/h) et dont les gares ont des résidus négatifs est la ligne 69 (Kortrijk-Poperinge). En effet, cette dernière est caractérisée par un chapelet de gares qui se situe en dessous de la moyenne d'exploitation.

5.3. Critique des résultats

Les **avantages** associés à l'analyse de la structure fonctionnelle du réseau ferroviaire sont les suivants :

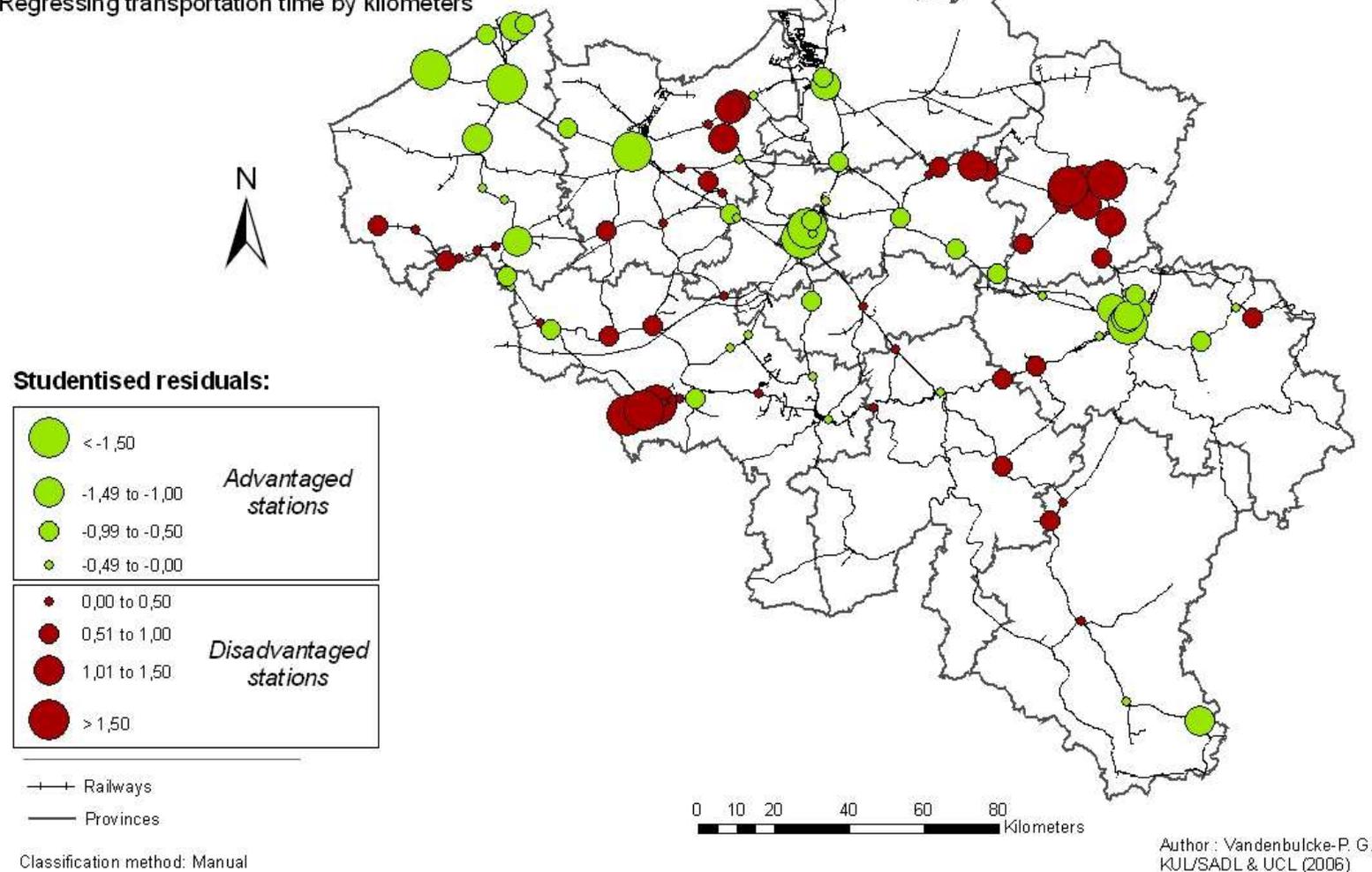
- i. Dans le cadre d'une politique de transport, l'application d'une comparaison de données (distances kilométriques et distances temporelles) par analyse de régression est **utile pour analyser l'effet de l'exploitation du réseau ferroviaire belge**. En effet, en faisant référence à une sorte de « moyenne d'exploitation » (qui correspond à la droite de régression), nous pouvons distinguer quelles sont les gares pénalisées (résidus positifs) et quelles sont celles qui sont avantagées (résidus négatifs) par l'exploitation du réseau. Présentés sous forme d'une représentation cartographique, les résultats obtenus ici constituent donc une aide pratique à l'analyse et à la gestion d'un réseau.
- ii. Malgré un temps relativement long d'encodage de certaines données (en particulier, pour la matrice de temps de parcours), la **faisabilité technique** ainsi que la **facilité d'interprétation** et de compréhension des résultats sont des éléments qui soulignent l'intérêt d'utiliser une telle méthode afin d'évaluer l'accessibilité de nœuds (gares, arrêts de bus, arrêts de métro, ...) pour un réseau de transport déterminé.
- iii. Comme nous l'avons fait sous-entendre ci-dessus, la méthode est **applicable pour tout type de réseau de transport**. Il serait donc intéressant d'effectuer le même genre d'analyse à un plus grand nombre de terminaux (par exemple, pour toutes les gares SNCB), ou encore à une **échelle plus locale** (par exemple, pour tous les arrêts de transport public en Région bruxelloise).

Enfin, les **inconvénients** associés à l'analyse sont les suivants :

- i. Dans le cas présent, aucune distinction n'est faite entre l'accessibilité **vers** les autres gares et l'accessibilité **à partir de** la gare considérée. En effet, quel que soit le sens pris par le voyageur sur une ligne, le temps de parcours ne change pas. Or, dans la réalité, ce temps varie d'un sens à l'autre sur la ligne. Dans le cas du chemin de fer, nous avons vu que cette variation n'était pas très significative (environ 0,7%). Néanmoins, dans d'autres cas (par exemple, en bus ou en tram), il est probable que cette variation devienne significative et que la distinction entre l'accessibilité « vers » et « à partir de » doive être faite dans l'analyse.
- ii. Pour des raisons pratiques, seules les gares IC ont été sélectionnées dans le cadre de cette analyse. Il aurait toutefois été intéressant de baser notre choix sur une **répartition** plus **homogène** des gares dans l'espace (ou encore, sur la localisation des principales villes du pays). Cependant, cette question relative au choix des gares ne se pose plus lorsqu'il est décidé de retenir l'ensemble des gares du réseau.

Rail stations - Belgium Effects of exploitation by SNCB / NMBS (2006)

Regressing transportation time by kilometers



Carte 46 : Accessibilité des gares IC – Effets de l'exploitation par la SNCB (2006)

6. Accessibilité aux secteurs statistiques à fortes densités d'emploi, à partir de la gare la plus proche

6.1. Données utilisées

Les différentes données **utilisées** dans cette analyse sont les suivantes :

- Banque de données routières disponibles à l'UCL et à la KUL (627.856 arcs)
- Base de données sur les différentes lignes ferroviaires belges (20.367 arcs). Source : KUL/SADL.
- Banque de données sur la population et l'emploi par commune (01/10/2001). Source : INS (voir <http://statbel.fgov.be/>)
- Supports cartographiques des différentes limites administratives du territoire belge (provinces, communes, anciennes communes, secteurs statistiques). Source : IGN.
- Base de données relative à la localisation GPS des gares passagers. Source : SNCB, 2005.

6.2. Méthodologie et différentes étapes du travail

Avant d'aborder la méthodologie, il convient à nouveau de donner les informations suivantes:

- **Aire d'étude** : Belgique
- **Echelle d'analyse** : Secteurs statistiques
- **Logiciel informatique** utilisé : ArcGIS 9.1 (extension : Network Analyst)

6.2.1. Méthodologie

Le **but** est ici de construire une mesure de l'accessibilité vers les principales concentrations d'emplois, tels que les parcs industriels, les bureaux, les administrations, etc. Il s'agit donc d'identifier les activités qui mobilisent un grand nombre d'employés et qui sont très éloignées des gares belges, notamment afin de souligner l'intérêt (ou non) de mettre en place un **politique de localisation des secteurs « générateurs de déplacements »**. Comme dans le cas de la politique ABC (Pays-Bas), elle viserait à définir une stratégie de localisation, faisant correspondre le « profil d'accessibilité » du lieu avec le « profil de mobilité » de l'entreprise ou du service.

L'indicateur utilisé ici est une simple mesure de la **distance kilométrique** (le long du réseau routier) entre les gares (origines i) et les secteurs statistiques à fortes densités d'emploi (destinations j). Le choix des gares comme origine se justifie par le fait que nous voulons cibler les secteurs pour lesquels on pourrait soupçonner une utilisation intense de l'automobile dans les déplacements au lieu de travail. En effet, lorsque la distance est élevée entre la gare et le lieu de travail, l'utilité du train devient décroissante et celle de la voiture croissante. Comme on peut le voir dans le tableau 5, l'utilisation de la voiture croît significativement lorsque le nombre de kilomètres entre la gare et le lieu de travail dépassent le kilomètre (plus de 72,9 % d'employés utilisent la voiture). Au delà de ce seuil, l'utilisation de la voiture devient de plus en plus intense. L'analyse de la distance entre le lieu de travail et la gare la plus proche permet donc de cibler spatialement les secteurs (ou les lieux d'activité) vers lesquels il est très probable que la majeure partie des employés prenne la voiture pour aller

travailler. Or, dans l'optique d'une mobilité durable et d'une meilleure qualité de vie, les entreprises qui engagent un grand nombre de personnes devraient idéalement se localiser à proximité de grands terminaux de transport (dans notre exemple, les gares) pour ainsi pousser l'individu à réfléchir sur la pertinence de son choix modal. Les politiques de transport et d'aménagement du territoire devraient donc pousser les activités (ayant beaucoup d'employés) à **se localiser d'une telle manière que les transports publics deviennent plus compétitifs par rapport à la voiture.**

Mode de transport	< 249 m	250-499 m	500-999 m	1-2 km	2-5 km	> 5 km	Total
Marche	5,6	7,5	3,2	5,6	4,3	3,6	4,3
Vélo	12,0	4,6	9,6	4,1	4,0	9,4	7,4
Train	18,0	15,6	19,0	8,0	8,4	2,1	7,4
Transports publics	19,3	7,0	5,8	9,4	7,2	5,1	7,0
Voiture	45,2	65,3	62,4	72,9	76,1	79,7	73,9
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tableau 11 : Mode de transport utilisé (%) selon la distance entre la gare et le lieu de travail (sources : SSTC, 2001)

Dans le cadre de cette analyse, il faut encore noter que le calcul des distances se fait **le long du réseau routier** et que les unités utilisées sont les kilomètres. Le temps de parcours n'a pas été retenu ici à cause de sa très forte variabilité en fonction du mode de transport choisi par l'employé (bus, tram, métro, marche, vélo, ...). De plus, l'utilisation des kilomètres comme unité de distance permet d'effectuer des comparaisons avec d'autres études ou enquêtes telles que celle faite pour la mobilité des ménages.

6.2.2. Définition des secteurs à fortes densités d'emploi et construction de la matrice OD

Les destinations vers lesquelles les déplacements sont ici calculés (à partir des gares) correspondent aux **secteurs statistiques pour lesquels la densité d'emploi dépasse 850 emplois/km²**. Cette valeur-seuil est choisie sur base de :

- L'**histogramme de densité des emplois pour les secteurs statistiques** ; l'analyse de ce dernier montre une « cassure » pour 850 emplois/km² (environ).
- **Méthodes de classification** ; pour cartographier la densité d'emploi, il semble que la méthode la plus pertinente soit celle des quantiles. Une des limites de classe s'arrêterait à environ 850 emplois/km².
- **Cartographies** des parcs industriels, des services supérieurs aux entreprises, de la métallurgie et du travail des métaux, ou encore du secteur de la chimie (Charlier *et al.*, 2004). La localisation de cet ensemble de lieux d'activités permet de valider le choix de la valeur-seuil de 850 emplois/km² pour représenter les secteurs à fortes densités d'emplois.

Au total, 1.727 secteurs statistiques sont donc sélectionnés, ce qui représente environ 500 km² (soit 1,67 % du territoire belge). Pour chacun de ces secteurs, un **centroïde** est calculé afin de générer des destinations facilement intégrables dans une matrice OD. Malgré que l'aire des

secteurs soit réduite à un simple point (le centroïde), l'imprécision des résultats (distances kilométriques) est très faible étant donné que l'aire moyenne de chacun des secteurs à fortes densités d'emploi est d'environ 0,289 km². En outre, tous les centroïdes sont situés à moins de 100 mètres du réseau routier.

Une fois que les secteurs à fortes densités d'emplois ont été définis et que leurs centroïdes ont été générés dans le Network Analyst, une **matrice OD des distances kilométriques** est créée entre ces mêmes centroïdes et les gares les plus proches. La cartographie des résultats donne alors la valeur de l'éloignement des secteurs par rapport aux gares. L'analyse des cartes est réalisée dans la section suivante.

6.2.3. Analyse des résultats

Dans le but d'offrir le meilleur niveau de détail possible, la cartographie des résultats a été réalisée **par province** et reprend également la région de Bruxelles-Capitale (voir Cartes 47 à 57). La classification des valeurs est manuelle mais reprend des intervalles qui sont évocateurs des différentes parts modales dans le déplacement vers le lieu de travail. Par exemple, lorsque la distance est supérieure à 3 kilomètres, la probabilité que l'individu se déplace à pied ou utilise les transports publics entre la gare et son lieu de travail diminue très fortement (notamment à cause du temps de parcours et du nombre de correspondances, qui augmentent proportionnellement avec la distance). Au contraire, l'utilisation de la voiture augmente au-delà de 3 kilomètres ; celle-ci a, en effet, l'avantage d'éviter de longs déplacements à pied ou d'éventuelles correspondances supplémentaires à la gare (bus, tram, métro, ...).

Avant de passer à l'analyse par province, rappelons que la distance est calculée **par rapport aux gares**, et non par rapport aux lignes de chemin de fer. De plus, l'évaluation des distances est faite le long du réseau, et non de manière euclidienne. Dans certains cas, la nécessité de contourner la gare⁸⁰ pour rejoindre le lieu de travail explique que les distances soient élevées par rapport à une distance calculée à vol d'oiseau.

6.2.3.1. Province d'Antwerpen

En premier lieu, le lecteur attentif ne manquera pas de remarquer l'importante concentration de secteurs à fortes densités d'emplois dans la zone industrialo-portuaire d'Antwerpen (voir Carte 47). L'analyse des distances à la gare la plus proche montre que la plupart de ces secteurs n'excède généralement pas le seuil de 3 km, au-delà duquel la plupart des employés vont travailler en voiture. Par contre, autour de la ville d'Antwerpen, on observe que le nombre de secteurs situés entre 3 et 8 km est très important (exemple de Kontich ; voir Figure 15). Pour la plupart de ces secteurs, l'attractivité du train baisse puisque, à partir de la gare, l'employé est obligé d'utiliser d'autres transports en commun pour se rendre jusqu'à son lieu de travail (ce qui nécessite parfois un certain nombre de correspondances, engendrant ainsi un certain inconfort). La localisation de ces secteurs avantage donc l'utilisation de l'automobile (celle-ci étant d'autant plus intense que le lieu de travail est proche d'une autoroute ou d'une voie rapide (voir figures ci-dessous)). De Schilde à Hoogstraten, certains secteurs dépassent le seuil de 8 km, voire même celui de 16 km. La présence de la voie d'eau et de l'autoroute (A1) vers les Pays-Bas expliquent probablement (en partie) la localisation de ces activités. Enfin, la

⁸⁰ Comprenant le terminal et les lignes de chemin de fer.

périphérie de certaines villes comme Mechelen, Turnhout, ou Herentals concentrent des parcs industriels situés à plus de 3, voire même 8 km, des gares.



Figure 15 : Ces images sont tirées de Google Earth et illustrent un parc industriel à Kontich, au sud de la ville d'Antwerpen. Vue du parc à proximité de l'autoroute E19 (haut) et zoom sur un parking d'une entreprise (bas). L'utilisation intense de l'automobile est mise en évidence par le taux de remplissage relatif élevé du parking. Notons que ces images ont moins de 3 ans.

6.2.3.2. Flandre Occidentale

Dans et autour des grandes villes telles que Brugge, Oostende ou Kortrijk, les secteurs les plus éloignés se trouvent généralement entre 3 et 8 km par rapport aux gares (voir Carte 48). En outre, les activités situées dans la zone industrialo-portuaire de Zeebrugge ne dépassent pas les 3 kilomètres. On remarquera toutefois que des communes comme Waregem (parc industriel), Ichtegem, Gistel, Koekelare, Zonnebeke, ou Moorslede présentent des concentrations d'emplois qui sont localisées relativement loin des gares. On notera aussi l'éloignement de certaines activités situées entre Middelkerke et De Panne (8-16 km), même si celui-ci doit être nuancé par la très bonne **desserte du tram** qui relie les différentes villes de la Côte belge.

6.2.3.3. Flandre Orientale

Une nouvelle fois, ce sont les périphéries des grandes villes telles que Gent ou Sint-Niklaas qui rassemblent la plupart des secteurs situés entre 3 et 8 km des gares (voir Carte 49). La très forte densité de gares dans le sud et le centre de la province limite par contre le nombre de secteurs situés à plus de 8 km. Seules quelques rares communes (Hamme, Stekene ou Lochristi) se distinguent par des activités localisées relativement loin de toute gare (plus de 8 km). Celles situées dans les communes de Beveren, Maldegem et Zelzate sont également très éloignées des gares (voir Figure 16, ci-dessous), mais la présence de lignes de chemin de fer et de gares de marchandises à proximité pourraient permettre la mise sur voie de trains spécialement affrétés pour le transport de la main d'œuvre vers le lieu de travail. Dans le cas où ils habiteraient à proximité d'une gare, les employés auraient alors la possibilité de prendre le train pour se rendre à leur lieu de travail, ce qui réduirait ainsi la part de l'automobile dans les déplacements domicile-travail.

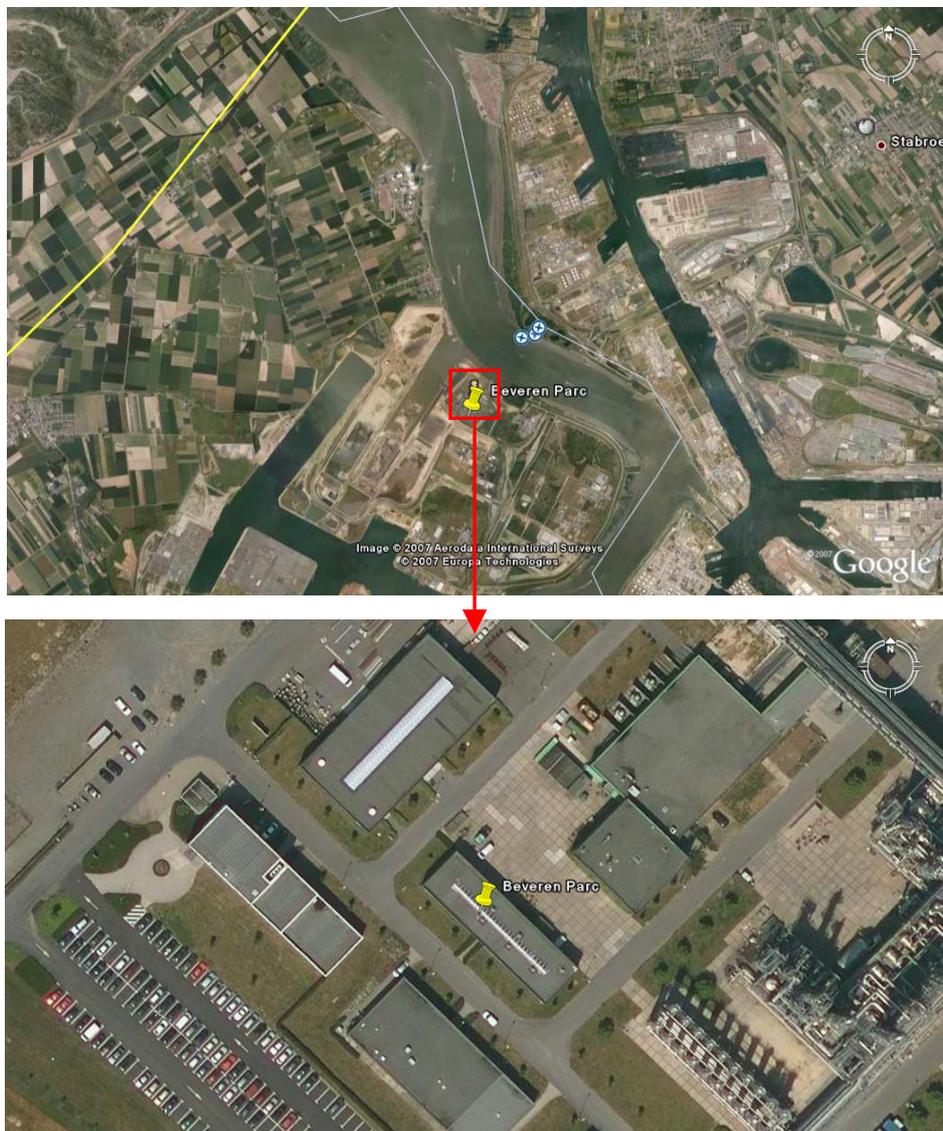


Figure 16 : Parc industriel à Beveren, situé dans la zone industrialo-portuaire d'Antwerpen (haut). La photo du bas montre un zoom sur un parking de l'une des entreprises (bas). L'utilisation intense de l'automobile est à nouveau mise en évidence.

6.2.3.4. Brabant Flamand

En province du Brabant Flamand (voir Carte 50), la plupart des activités se situent à une distance inférieure à 8 km des gares. Seul un secteur fait exception et est situé dans la commune de Lennik, à l'ouest de la Région de Bruxelles-Capitale. Dans l'est de la province, les activités localisées entre 3 et 8 km correspondent généralement aux périphéries des villes (Leuven, Diest, ou encore Tienen). Celles situées dans la partie ouest du Brabant Flamand sont, quant à elles, situées dans la périphérie directe de Bruxelles (communes de Wemmel, Grimbergen, Vilvoorde, Machelen, Zaventem, Kraainem, Tervuren, et Overijse). Leur localisation favorable près de la capitale belge permet de tirer profit d'une position centrale par rapport au marché belge (mais aussi par rapport au marché européen) et d'un accès (quasi-)direct au réseau autoroutier (via le ring). Etant donné que la distance à la gare la plus proche varie entre 3 et 8 km, il est très probable que la plupart des employés utilise intensivement la voiture pour se rendre sur le lieu de travail, contribuant ainsi à la **congestion chronique du ring de la capitale (R0)**. Si les secteurs en question sont de type commercial (par exemple, parc d'activités rassemblant des concessionnaires automobiles, des hypermarchés, etc.), les **déplacements de la clientèle et des unités de livraison** (camions de marchandises) sont également des facteurs qui concourent à l'augmentation de la congestion aux abords de la capitale.

Quelques illustrations de secteurs sont données ci-dessous, montrant l'utilisation intensive de l'automobile dans les déplacements domicile-travail vers des parcs d'activités situés à plus de 3 km par rapport aux gares (exemples de secteurs dans les communes d'Overijse, Wemmel, Vilvoorde, Grimbergen et Zaventem ; voir Figures 17, 18 et 19).



Figure 17 : Parc industriel à Overijse, établi le long de la N4. En observant attentivement, on pourra remarquer le taux de remplissage élevé des parkings pour voitures.

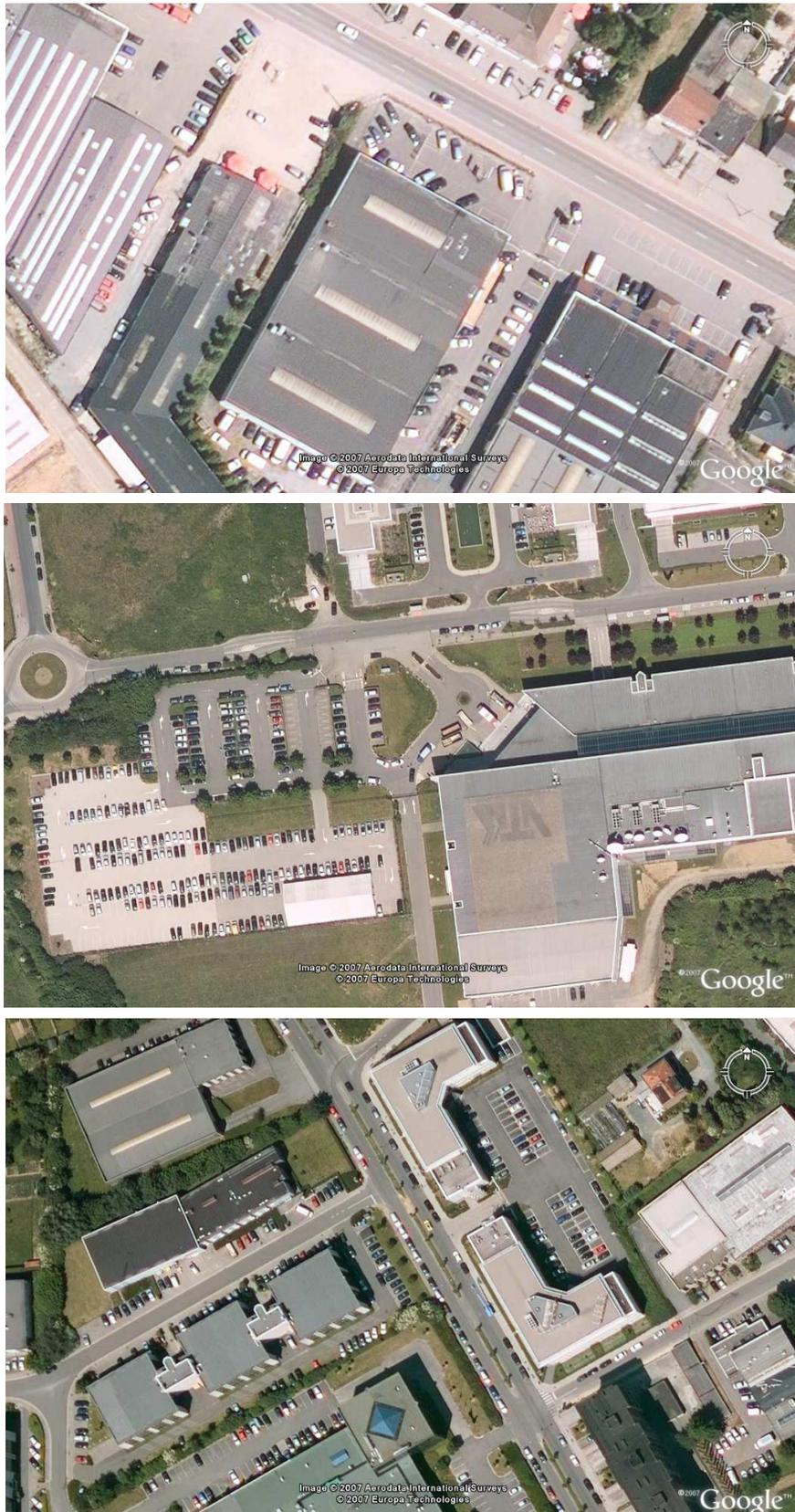


Figure 18 : Sur chacune des photos, on observera encore la prédominance de la voiture dans les déplacements (Photo du haut : zoom sur une autre partie du parc d'Overijse ; Photo du milieu : Siège de VTM, établi à Vilvoorde ; Photo du bas : vue sur une zone de bureaux, établie à Wemmel). Notons que la plupart des entreprises figurant sur les photos se situent à proximité du ring, privilégiant ainsi l'accessibilité routière à l'accessibilité en transports en commun. Aux heures de pointe, les conséquences de ce développement le long du ring se présentent sous forme de congestion routière.

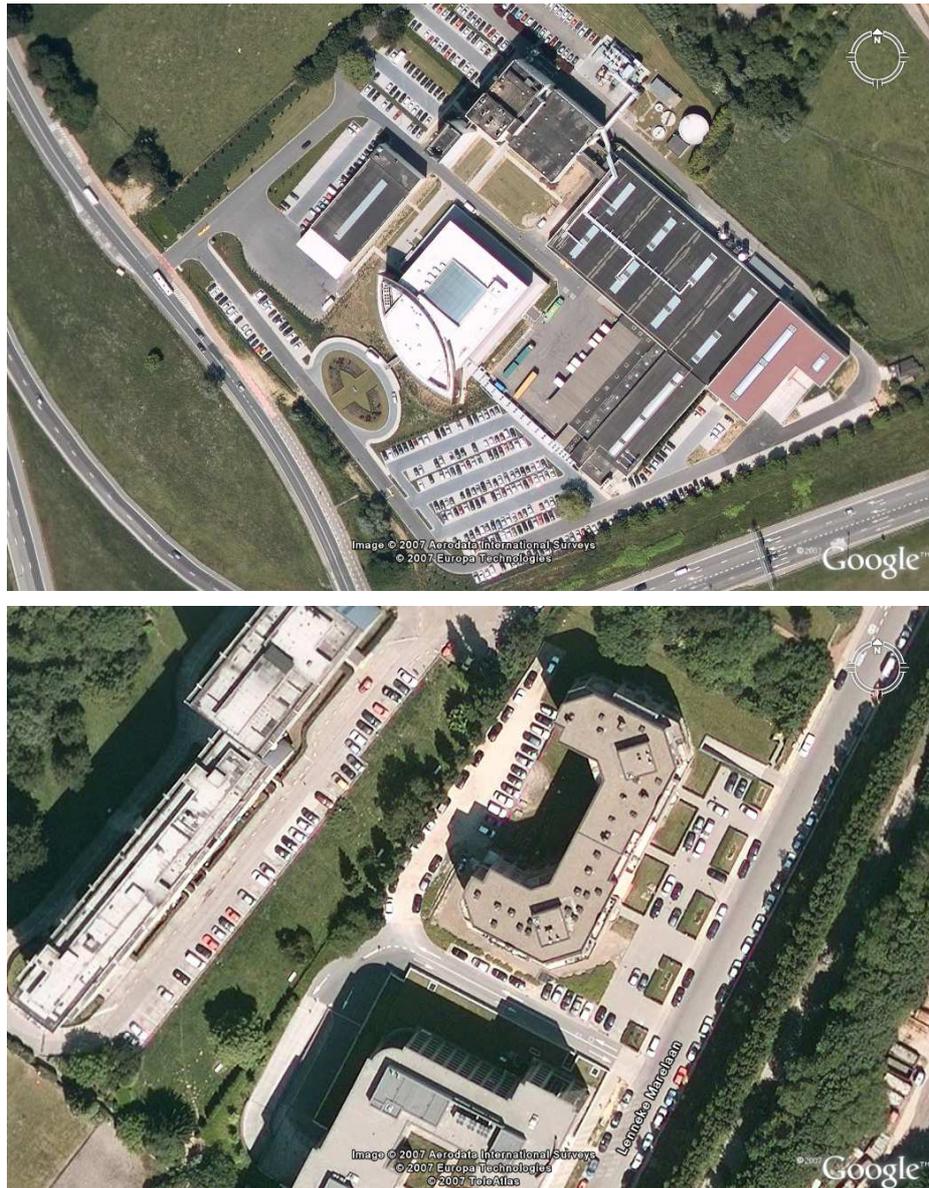


Figure 19 : La photo du haut montre une entreprise établie à Grimbergen, à proximité du ring de Bruxelles. Celle du bas montre une autre entreprise, établie à Zaventem. On observe à nouveau un taux de remplissage élevé des parkings.

6.2.3.5. Province du Limbourg

Excepté dans les communes de Hasselt, Tongeren, Lommel, Overpelt et Sint-Truiden, la localisation des secteurs à fortes densités d’emplois est très problématique (voir Carte 51) ; en effet, la plupart d’entre eux sont situés à plus de 8 km de toute gare belge. Dans le nord-est de la province, certains sont même localisés à une distance supérieure à 16 km des gares (parcs industriels et secteurs à fortes densités d’emplois de Maasmechelen (voir Figure 20), Maaseik, Bree, et Meeuwen-Gruitrode). La proximité par rapport à la voie d’eau (Meuse, Canal Juliana, Zuid-Willemsvaart) constitue probablement l’une des principales raisons ayant guidé l’implantation des firmes, que ce soit pour des raisons de transport ou d’utilisation d’eau comme ressource pour la fabrication des outputs. En outre, cette province reste l’une des plus attractives pour l’implantation de centres logistiques et parcs industriels, notamment grâce à une offre de terrain élevée et à des prix de location très avantageux (C&W/H&B, 2004). Par

conséquent, la **création de nouvelles infrastructures ferroviaires** (accompagné d'un service ferroviaire adéquat) pourrait donc :

- A moyen- ou à long-terme, être **source de développement** de cette province flamande en assurant le transport de main d'œuvre et marchandises. S'il y a lieu et si des économies peuvent être réalisées sur les coûts de transport, le développement du transport ferroviaire dans la province pourrait peut-être favoriser la pratique du transport intermodal.
- **Améliorer l'accessibilité ferroviaire** des parcs d'activité situés au nord-est de la province, et ainsi proposer à la main d'œuvre d'autres modes de transport que l'automobile pour se rendre sur le lieu de travail.

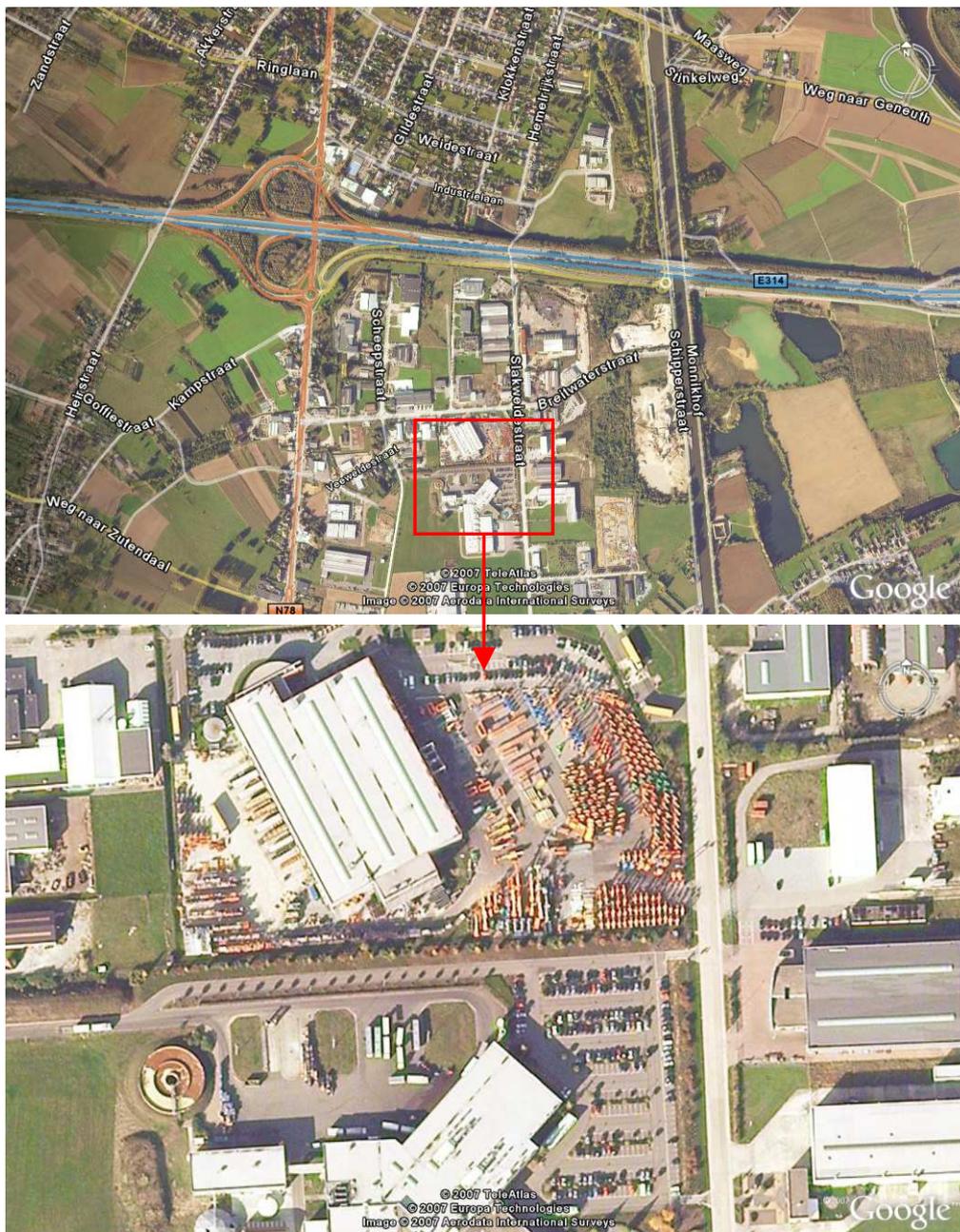


Figure 20 : Parc industriel à Maasmechelen, localisé près de l'autoroute E314 (Vue d'ensemble (photo du haut) et zoom sur une partie du parc (photo du bas)). Dans le nord de la province du Limbourg, la faible accessibilité ferroviaire explique probablement l'utilisation intense de la voiture dans les déplacements domicile-travail.

6.2.3.6. *Région de Bruxelles-Capitale*

Dans la capitale belge, on remarquera tout d'abord le nombre élevé de secteurs statistiques à fortes densités d'emploi ainsi que leur très bonne proximité par rapport aux gares (voir Carte 52) ; en effet, la plupart des secteurs sont situés à moins de 3 km de tout terminal ferroviaire. Ceux situés entre 3 et 8 km sont généralement en périphérie de la Région bruxelloise (sauf cas particuliers dans la commune d'Ixelles). Même s'ils paraissent très éloignés des gares, la **desserte** très fine **assurée par la STIB** permet de rendre ces sites d'activités facilement accessibles en transports en commun. Dans certaines grandes gares bruxelloises, la très bonne correspondance entre le train et le métro permettent également de rejoindre rapidement un lieu de travail situé à Woluwe-Saint-Lambert, Anderlecht, Jette, Molenbeek-Saint-Jean, ou encore Koekelberg. Les secteurs bruxellois bénéficient donc, pour la plupart, d'une très bonne accessibilité en termes de transports en communs (train, tram, métro, et bus).

6.2.3.7. *Province du Brabant Wallon*

Comme première observation, nous pouvons remarquer que le nombre de secteurs à fortes densités d'emplois n'est pas très élevé dans cette province de la Région wallonne (voir Carte 53). Malgré quelques rares exceptions localisées dans l'est du Brabant Wallon (communes de Jodoigne et de Ramillies), la plupart des secteurs à fortes densités d'emploi sont situés à une distance inférieure à 3 km des gares.

6.2.3.8. *Province du Hainaut*

La forte densité d'équipements ferroviaires dans la province du Hainaut limite le nombre de secteurs éloignés des gares (voir Carte 54). En périphérie de Charleroi, la proximité des gares par rapport aux lieux d'activités permet ainsi de circonscrire les déplacements gare-lieu de travail à des distances maximum de 3 km. Certains secteurs, situés en périphérie des grandes villes comme Mons, La Louvière, Tournai ou Mouscron, sont toutefois localisés à des distances supérieures à 3 km. D'autres, situés dans la botte du Hainaut, se retrouvent dans l'intervalle de distance 8-16 km (communes de Chimay et Beaumont).

6.2.3.9. *Province de Namur*

Comme dans le cas du Brabant Wallon, le nombre de secteurs à fortes densités d'emploi est très faible (voir Carte 55). En outre, la plupart des activités se localisent dans la ville de Namur, ou en périphérie (la distance à la gare la plus proche n'excédant pas les 3 km). Seuls quelques rares secteurs sont éloignés des gares et se retrouvent à une distance comprise entre 3 et 16 km de celles-ci. Il s'agit principalement de secteurs situés dans les communes de Rochefort (parc industriel de Rochefort), Florennes, et Fosse-la-Ville (parc industriel de Basse Sambre).

6.2.3.10. *Province de Liège*

En première analyse, nous pouvons remarquer de très nombreux secteurs situés à proximité des gares (moins de 3 km), notamment dans les villes de Liège et de Verviers (voir Carte 56). Par contre, le nombre d'entreprises et de parcs industriels situés à plus de 3 km des gares est

également très élevé, surtout en périphérie de Liège (voir Figure 21). La plupart des secteurs correspondants se situent à proximité des autoroutes (et autres voies rapides) et favorisent ainsi l'utilisation de l'automobile dans les déplacements domicile-travail. En dehors de l'agglomération liégeoise, les activités localisées à plus de 3 km des gares se trouvent dans les communes de Geer, Oreye, Eupen, et Stavelot. D'autres secteurs, situés à plus de 8 km de toute gare (voire même 16 km), sont actifs dans les communes de Hannut, Kelmis, Herve, Malmédy, Liernex et Saint-Vith. De telles distances par rapport aux gares ne peuvent que favoriser l'utilisation de la voiture pour se rendre sur le lieu de travail.

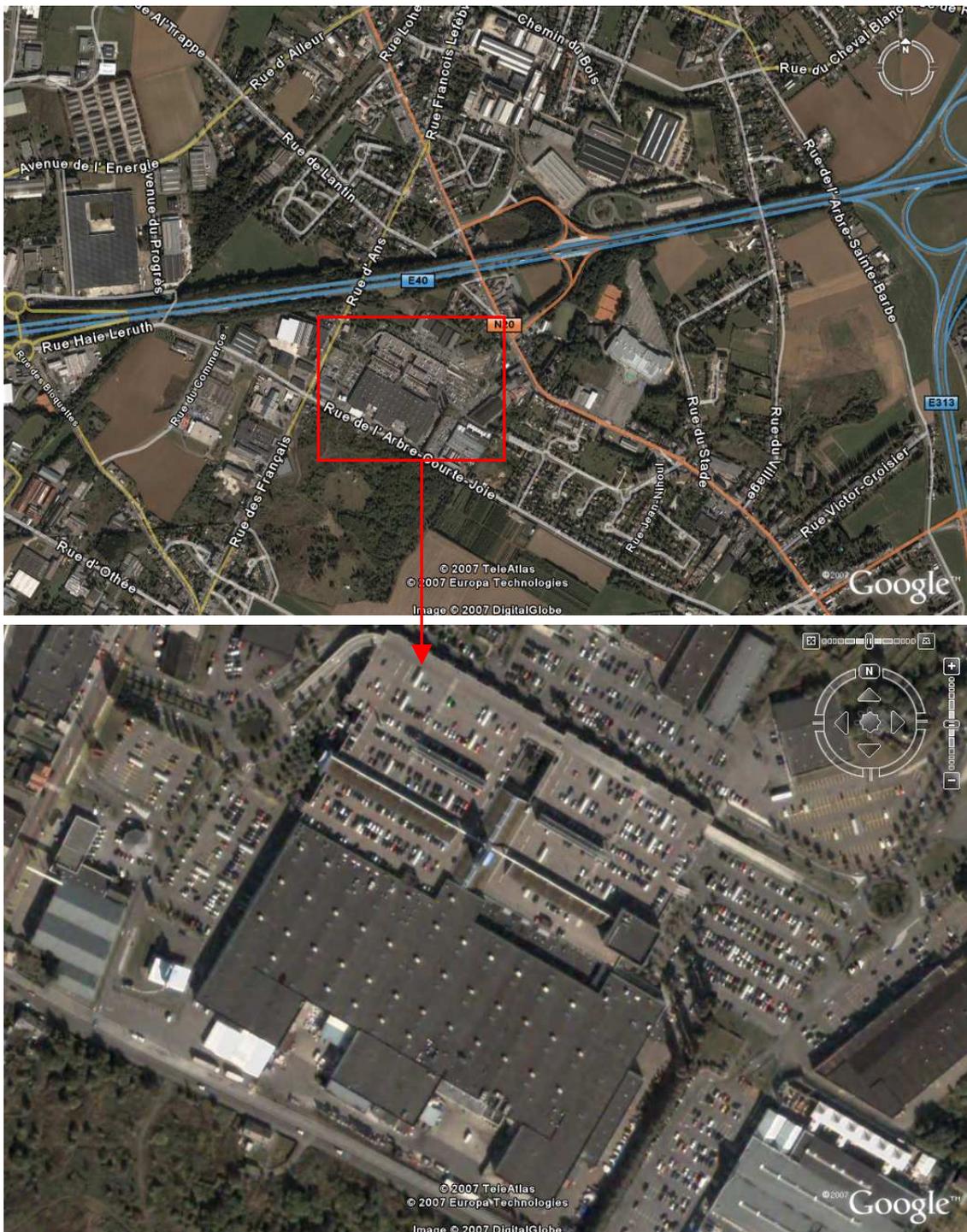


Figure 21 : Vue sur un parc d'activités, situé en périphérie de Liège (près de l'autoroute E40). Le zoom montre un taux de remplissage élevé des parkings.

6.2.3.11. Province du Luxembourg

Outre les quelques secteurs relativement proches des gares dans les villes d'Arlon, de Virton et de Libramont, certaines communes comptent des activités dont la distance à la gare excède les 3 km, voire même 8 km (voir Carte 57). Les communes luxembourgeoises concernées sont les suivantes : Bouillon, Nassogne, Saint-Hubert, Durbuy, et Erezée. Le cas de la commune de Bastogne est plus problématique puisque la plupart des secteurs sont localisés à une distance supérieure à 30 km de toute gare. Néanmoins, la ville bénéficie toujours d'une desserte en transports en commun grâce à la mise en place d'une ligne de bus à partir de Libramont ; venue en remplacement de l'ancienne ligne de chemin de fer (qui a été supprimée pour des motifs de rentabilité), cette même ligne de bus assure ainsi un transport quotidien de passagers entre Libramont et Bastogne.

6.2.4. Analyse comparative entre les provinces

Afin de comparer la situation d'accessibilité des secteurs entre les différentes provinces, nous avons utilisé les données contenues dans le système d'information géographique (SIG) afin de calculer le pourcentage d'emplois (situés dans les secteurs à fortes densités d'emplois) en fonction de la distance à la gare la plus proche. Dans un premier graphique (Figure 22), nous avons ainsi retenu : (1) les emplois localisés à une distance supérieure à 750 m des gares, et (2) les emplois localisés à une distance supérieure à 2000 mètres des gares. Lorsqu'on compare les différentes provinces entre elles, on constate tout d'abord que le pourcentage d'emplois situés à plus de 750 m de la gare la plus proche est plus élevé pour la Flandre que pour la Wallonie. Le Limbourg se distingue par le pourcentage le plus élevé ; en effet, 91 % des employés doivent parcourir au minimum plus de 750 mètres entre la gare et leur lieu de travail. Inversement : la province de Namur et la Région bruxelloise ont les valeurs les plus faibles (60 et 70 % respectivement) ; dans les deux cas, une part moins élevée d'employés doit parcourir une distance supérieure à 750 m pour rejoindre son lieu de travail.

Lorsqu'on passe à des distances supérieures à 2000 mètres, la situation est quasi identique à la précédente. En effet, le Limbourg est à nouveau caractérisé par le pourcentage le plus élevé (55 %) et se démarque même mieux des autres provinces flamandes, notamment à cause d'une baisse de pourcentage moins élevée. Enfin, la province de Namur et la Région bruxelloise sont une nouvelle fois caractérisés par les valeurs les plus faibles de pourcentages d'emplois. Dans le cas de la province de Namur, le pourcentage d'employés devant parcourir une distance supérieure à 2000 mètres de la gare (pour rejoindre le lieu de travail) se réduit même à 10 % (baisse de 50 % par rapport au cas où $d > 750$ m, ce qui signifie que près de la moitié des employés ont leur lieu de travail entre 750 et 2000 m de la gare la plus proche).

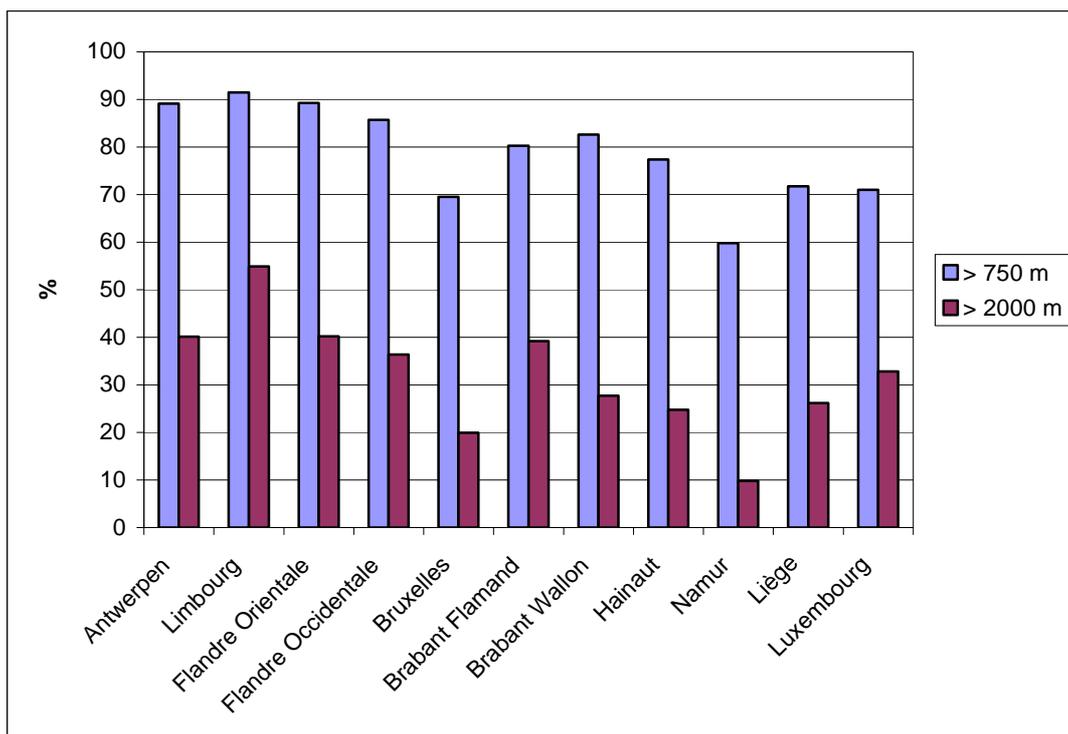


Figure 22 : Proportion d'emplois (par rapport à l'ensemble des emplois des secteurs statistiques > 850 emplois/km²) situés à une distance supérieure à 750 et 2000 mètres

En termes de pourcentages cumulés du nombre d'emplois, l'analyse de la Figure 23 confirme les résultats obtenus : la province de Namur et la Région Bruxelloise sont caractérisées par une proximité relativement élevée entre les lieux de travail et les gares, alors que la province du Limbourg compte un grand nombre d'emplois dont la localisation est distante des gares. Outre le fait qu'il permet de valider les résultats déjà obtenus, ce deuxième graphique donne quelques détails supplémentaires et présente l'avantage d'illustrer l'évolution du pourcentage cumulé d'emplois par province et en fonction de différents intervalles de distances. On constate ainsi que, jusque 2 km de distance par rapport à la gare la plus proche, la province du Limbourg se distingue par une évolution très faible du pourcentage cumulé d'emplois ; en effet, seuls 45 % des emplois se situent à moins de 2 km des gares (inversement : 55 % des emplois se situent à plus de 2 km des gares). Toujours en province du Limbourg, on remarque aussi qu'un grand nombre d'emplois ont leur lieu de travail situé entre 2 et 3 km par rapport aux gares ; l'évolution du pourcentage cumulé d'emplois passe en effet de 45 à 75 % (+ 30 %).

Enfin, l'analyse de la Figure 23 nous apprend aussi que, pour l'intervalle 2-3 km, le pourcentage cumulé d'emplois de la province d'Antwerpen est inférieur à celui de la province du Limbourg. Autrement dit, comparativement au Limbourg, un plus grand nombre d'employés doit parcourir une distance de 2 à 3 km pour rejoindre son lieu de travail situé en province d'Antwerpen. Le même genre de résultat est obtenu pour la province du Luxembourg, pour laquelle le pourcentage cumulé d'emplois est légèrement inférieur à celui du Limbourg lorsque les distances à la gare sont supérieures à 4 km.

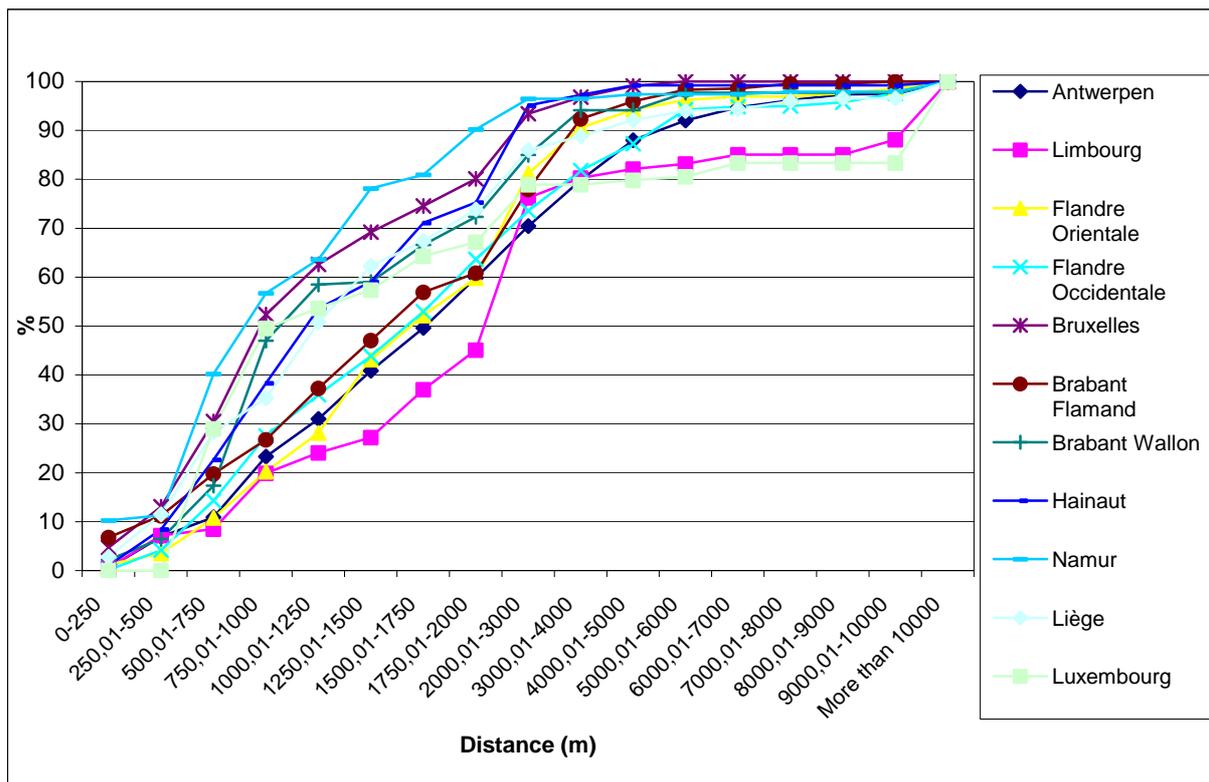


Figure 23 : Pourcentages cumulés du nombre d'emplois en fonction de la distance à la gare la plus proche

6.3. Critique des résultats

Les **avantages** associés à l'analyse de l'accessibilité aux secteurs à fortes densités d'emploi à partir des gares sont les suivants :

- i. Les résultats cartographiques mettent en évidence une forte structuration spatiale et identifient clairement quels sont les **lieux** (secteurs statistiques) à fortes densités d'emplois qui sont **les plus éloignés des gares** (c'est-à-dire ceux pour lesquels il est probable que la plupart des déplacements domicile-travail se fasse en voiture). En outre, l'application de **calculs annexes** (via les SIG) permet de quantifier les résultats obtenus et complète les informations données par les cartes.
- ii. Bien que l'analyse soit basée sur des indicateurs relativement simples, l'information donnée par les résultats cartographiques est très large et ouvre le champ à d'autres analyses plus ciblées et plus approfondies. En outre, les résultats pourraient être bien plus intéressants s'ils étaient accompagnés d'**enquêtes** sur le terrain (au sein des entreprises) et de **diagnostics** sur les déplacements des travailleurs. Les résultats fournis par ces enquêtes et diagnostics pourraient ainsi confirmer la nécessité d'appliquer dans la politique d'aménagement du territoire une concordance entre le profil d'accessibilité du lieu et le profil de mobilité de l'entreprise ou du service.

Les **inconvenients** associés à l'analyse de l'accessibilité aux secteurs à fortes densités d'emploi à partir des gares sont les suivants :

- i. Dans le cadre de cette analyse, il n'est pas tenu compte des **modes de transport autres que le transport ferroviaire**. Dans certains cas (par exemple, en Région

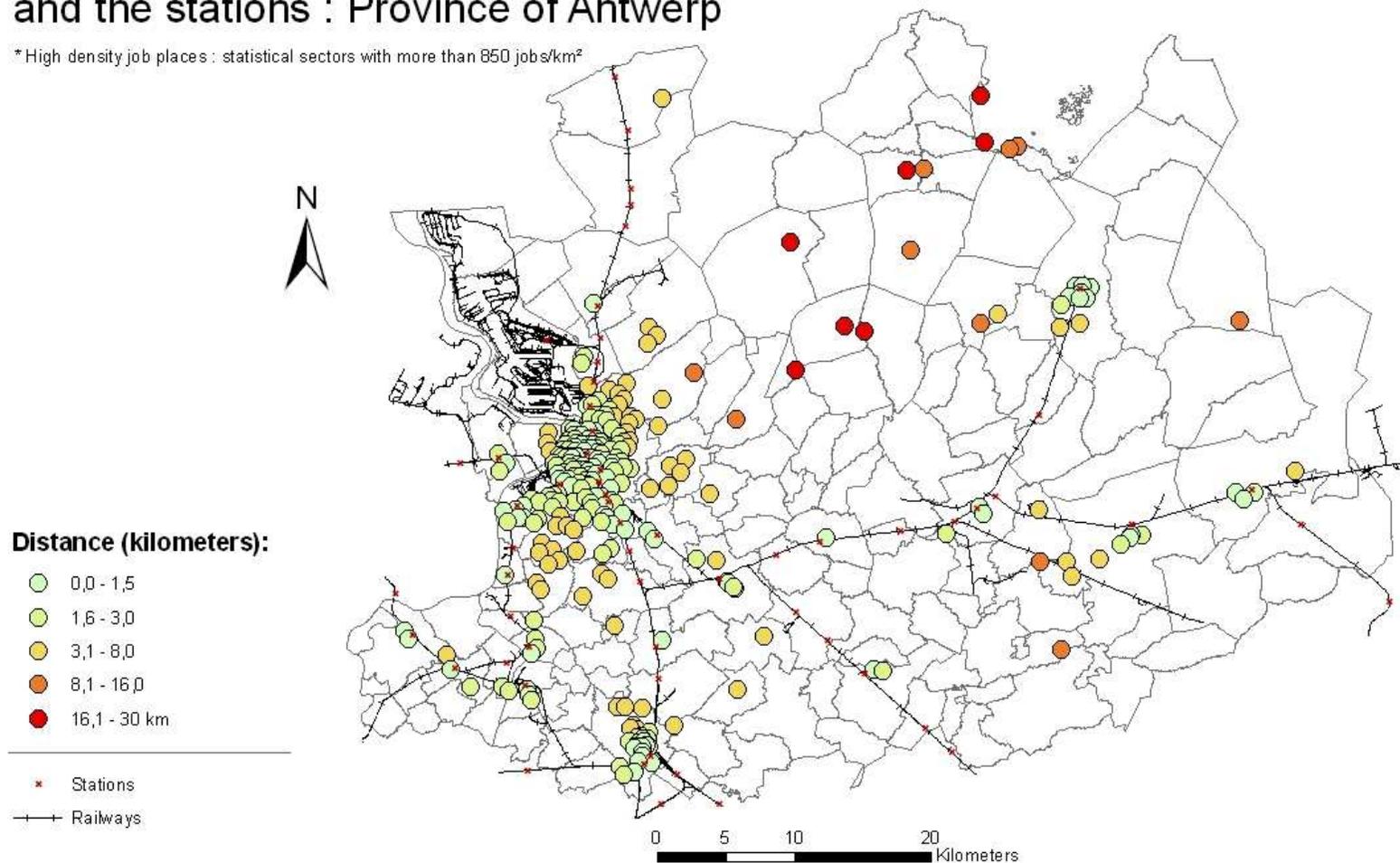
bruxelloise), il aurait été intéressant d'intégrer à l'analyse d'autres types de transport public, tels que le métro ou le tram.

- ii. L'utilisation de **simples distances** au lieu de travail est relativement basique et pourrait être améliorée par l'utilisation d'autres types d'indicateurs, plus complexes (à condition de disposer des données nécessaires et d'un temps suffisant pour faire les analyses). Les potentialités de variantes sont donc nombreuses et variées. Par exemple, une mesure de l'accessibilité multimodale⁸¹ de l'entreprise pourrait être appliquée pour les transports en commun, et ensuite comparée à une mesure de l'accessibilité en voiture. Sur base de cette comparaison, il faudrait alors – autant que possible – **favoriser l'implantation des entreprises dans des lieux où l'accessibilité en transports en commun est supérieure ou (plus ou moins) égale à celle de l'accessibilité en voiture**. L'un des principaux résultats de ce type de politique d'aménagement du territoire pourrait alors être une réduction de l'utilisation de l'automobile (à condition que les employés adaptent aussi la localisation de leur domicile en fonction de celle des principaux terminaux transports ; par exemple, un employé qui s'installe en milieu rural n'aura pas facilement accès aux transports et continuera probablement à utiliser sa voiture comme principal moyen de déplacement entre son domicile et son lieu de travail).

⁸¹ Intégrant différentes composantes de temps, comme le temps de transport, le temps d'attente, le temps de marche, ... Il s'agit donc d'un **temps du type porte-à-porte**, utilisant différents modes de transport (autres que la voiture) entre l'origine et la destination.

Distance in kilometers between the high density job places* and the stations : Province of Antwerp

* High density job places : statistical sectors with more than 850 jobs/km²



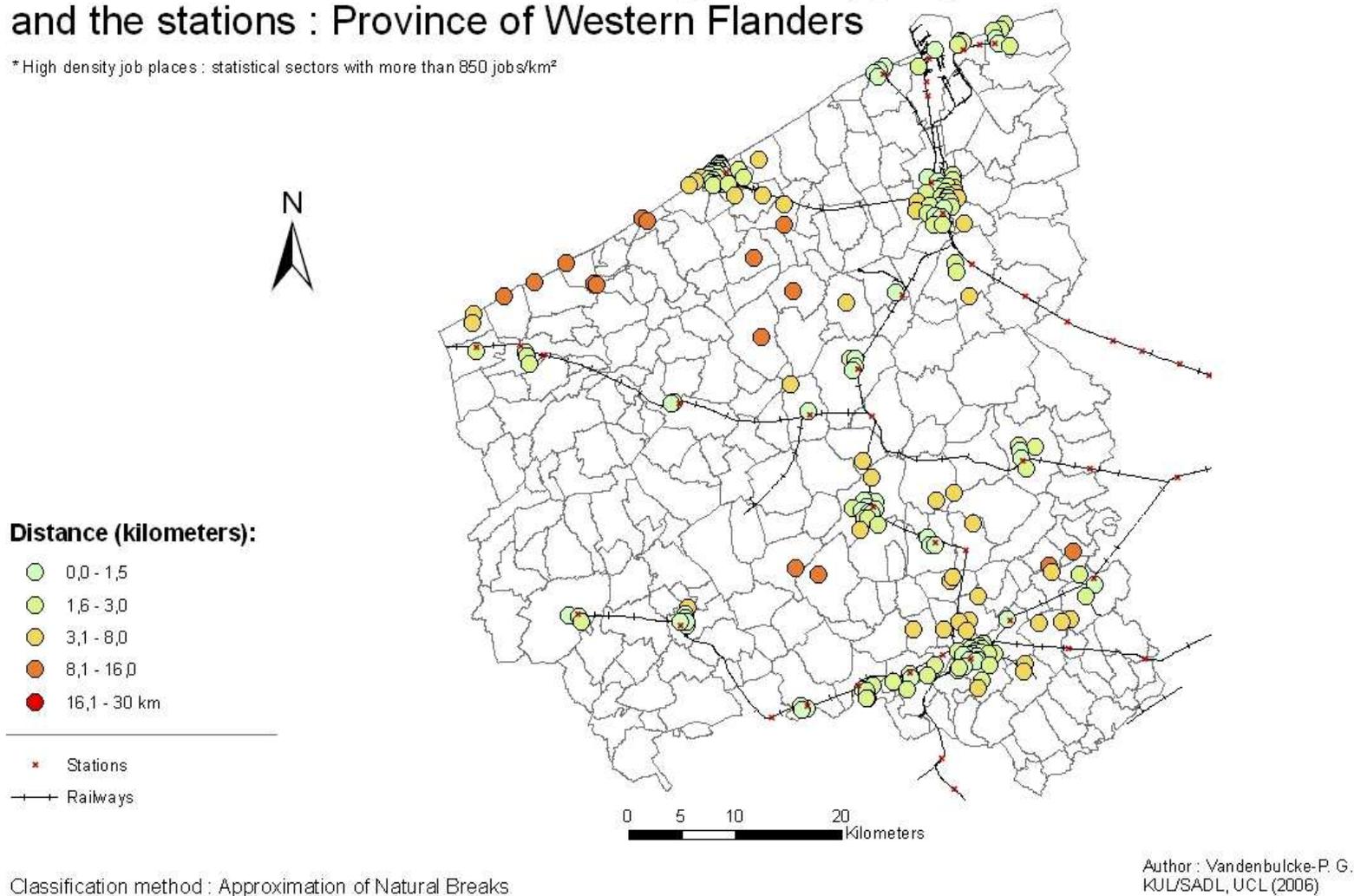
Classification method : Approximation of Natural Breaks

Author : Vandebulcke-P. G.
KUL/SADL, UCL (2006)

Carte 47 : Province d'Antwerpen – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d'emploi

Distance in kilometers between the high density job places* and the stations : Province of Western Flanders

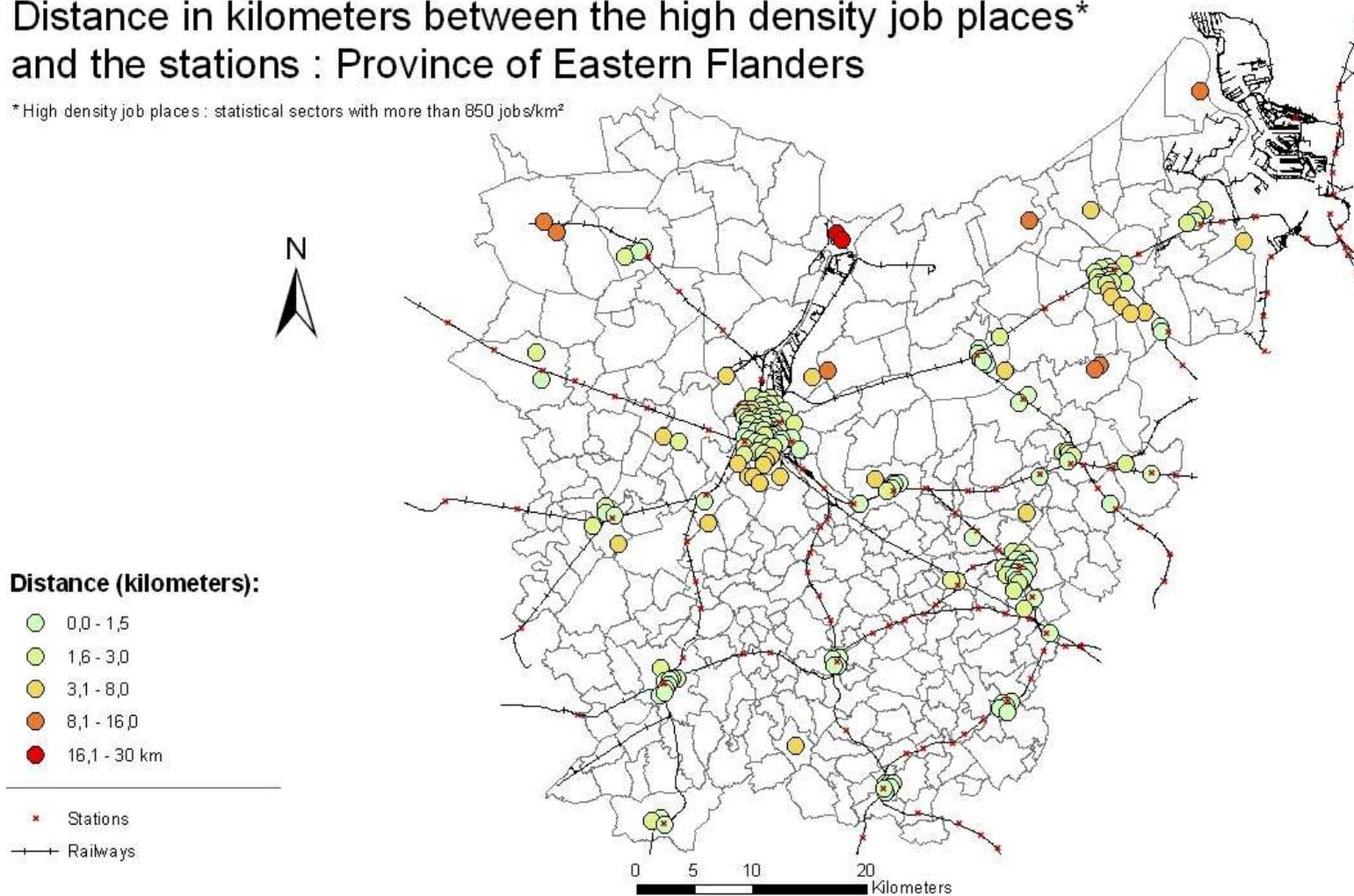
* High density job places : statistical sectors with more than 850 jobs/km²



Carte 48 : Province de Flandre Occidentale – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d'emploi

Distance in kilometers between the high density job places* and the stations : Province of Eastern Flanders

* High density job places : statistical sectors with more than 850 jobs/km²



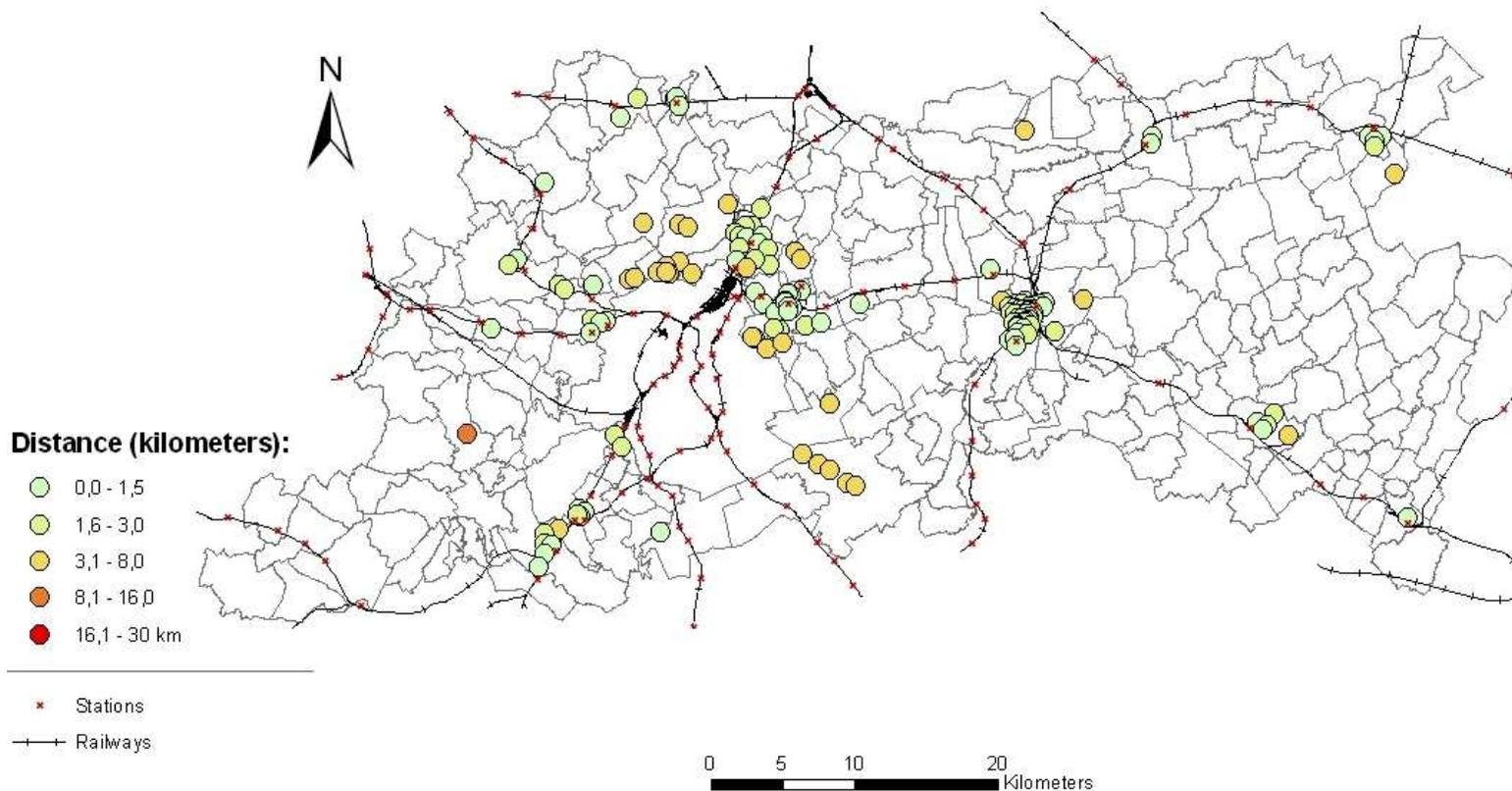
Classification method : Approximation of Natural Breaks

Author : Vandebulcke-P. G.
KUL/SADL, UCL (2006)

Carte 49 : Province de Flandre Orientale – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d'emploi

Distance in kilometers between the high density job places* and the stations : Province of Flemish Brabant

* High density job places : statistical sectors with more than 850 jobs/km²



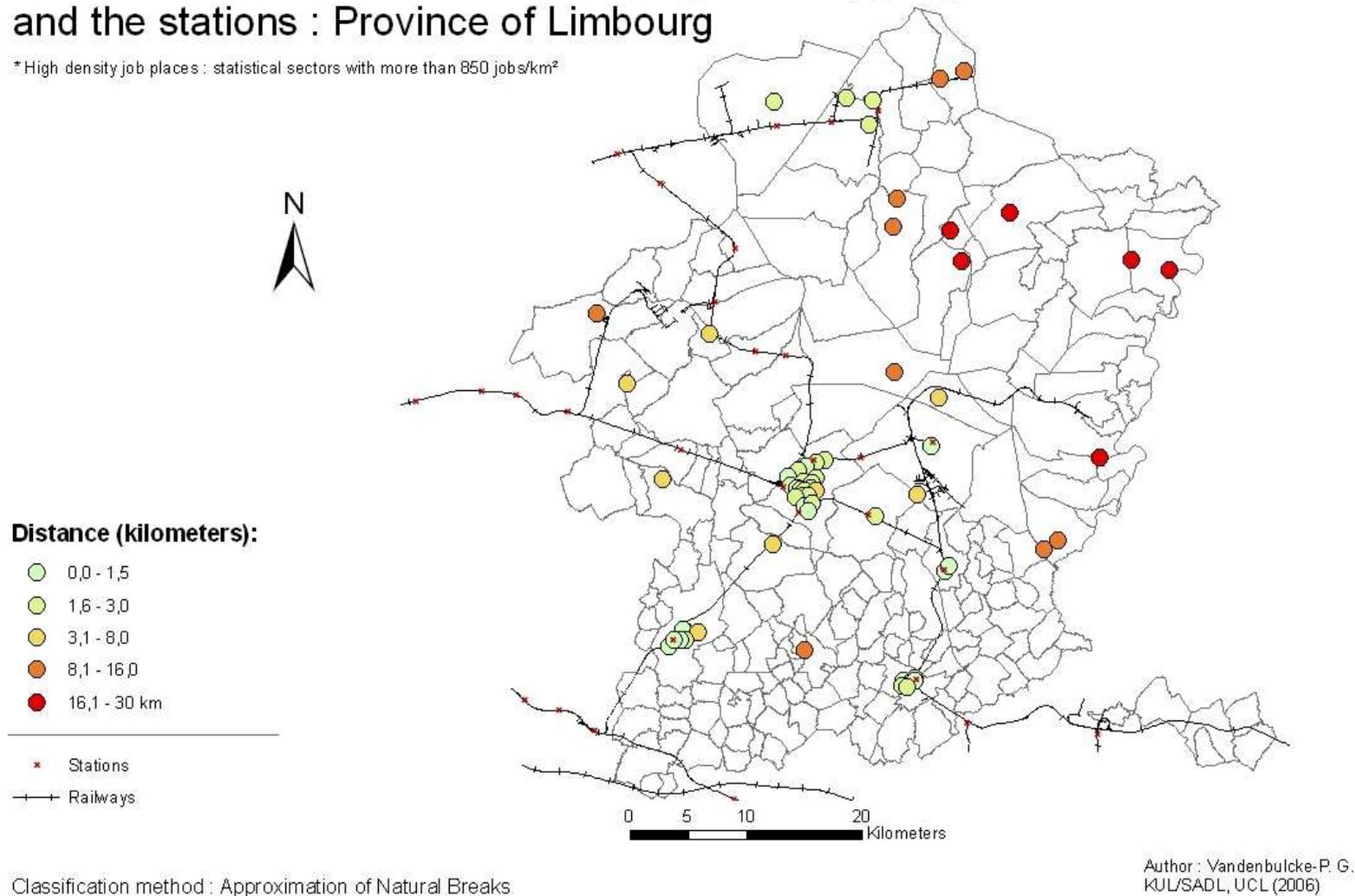
Classification method : Approximation of Natural Breaks

Author : Vandebulcke-P. G.
KUL/SADL, UCL (2006)

Carte 50 : Province du Brabant Flamand – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d'emploi

Distance in kilometers between the high density job places* and the stations : Province of Limbourg

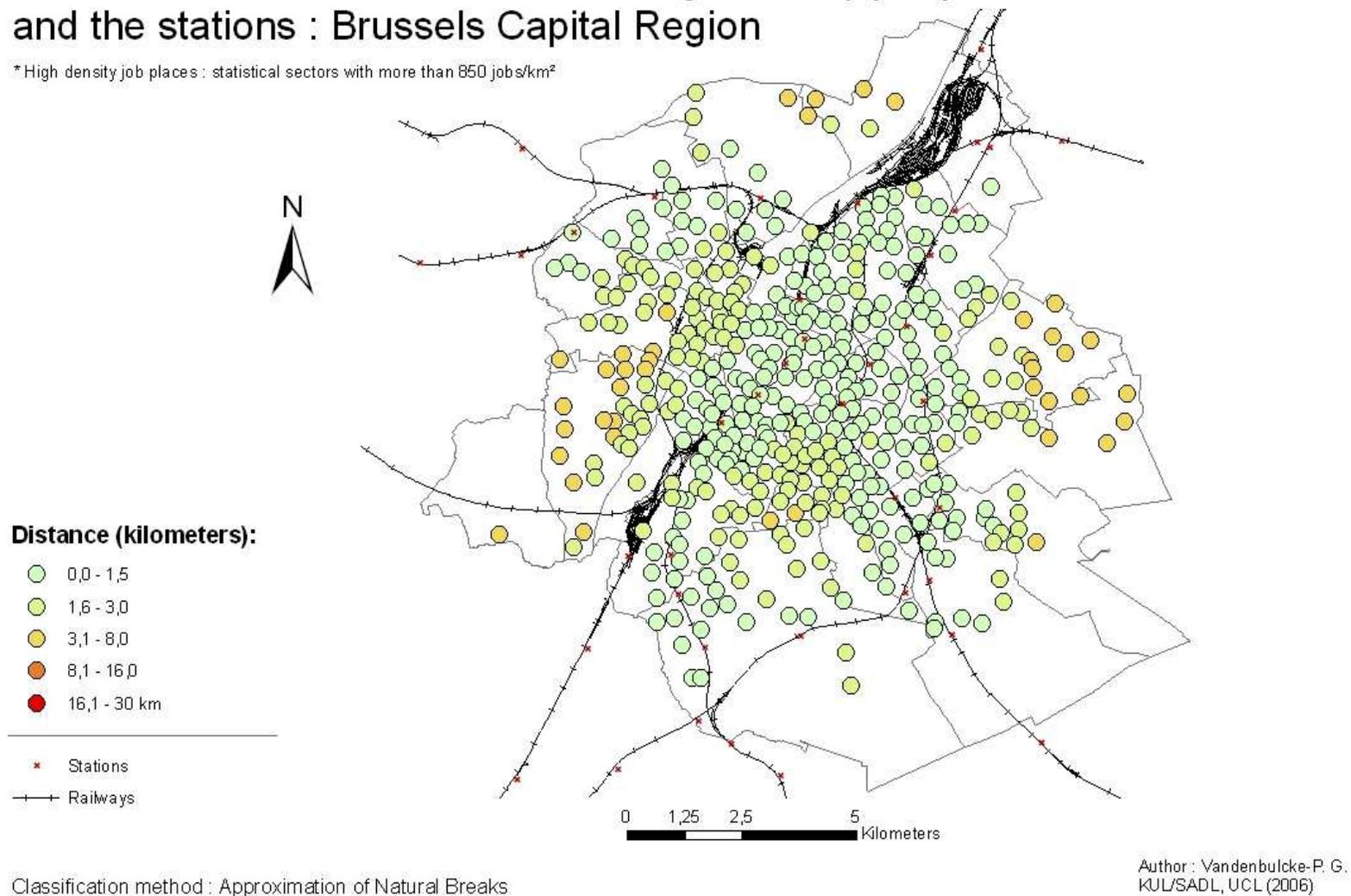
* High density job places : statistical sectors with more than 850 jobs/km²



Carte 51 : Province du Limbourg – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d’emploi

Distance in kilometers between the high density job places* and the stations : Brussels Capital Region

* High density job places : statistical sectors with more than 850 jobs/km²

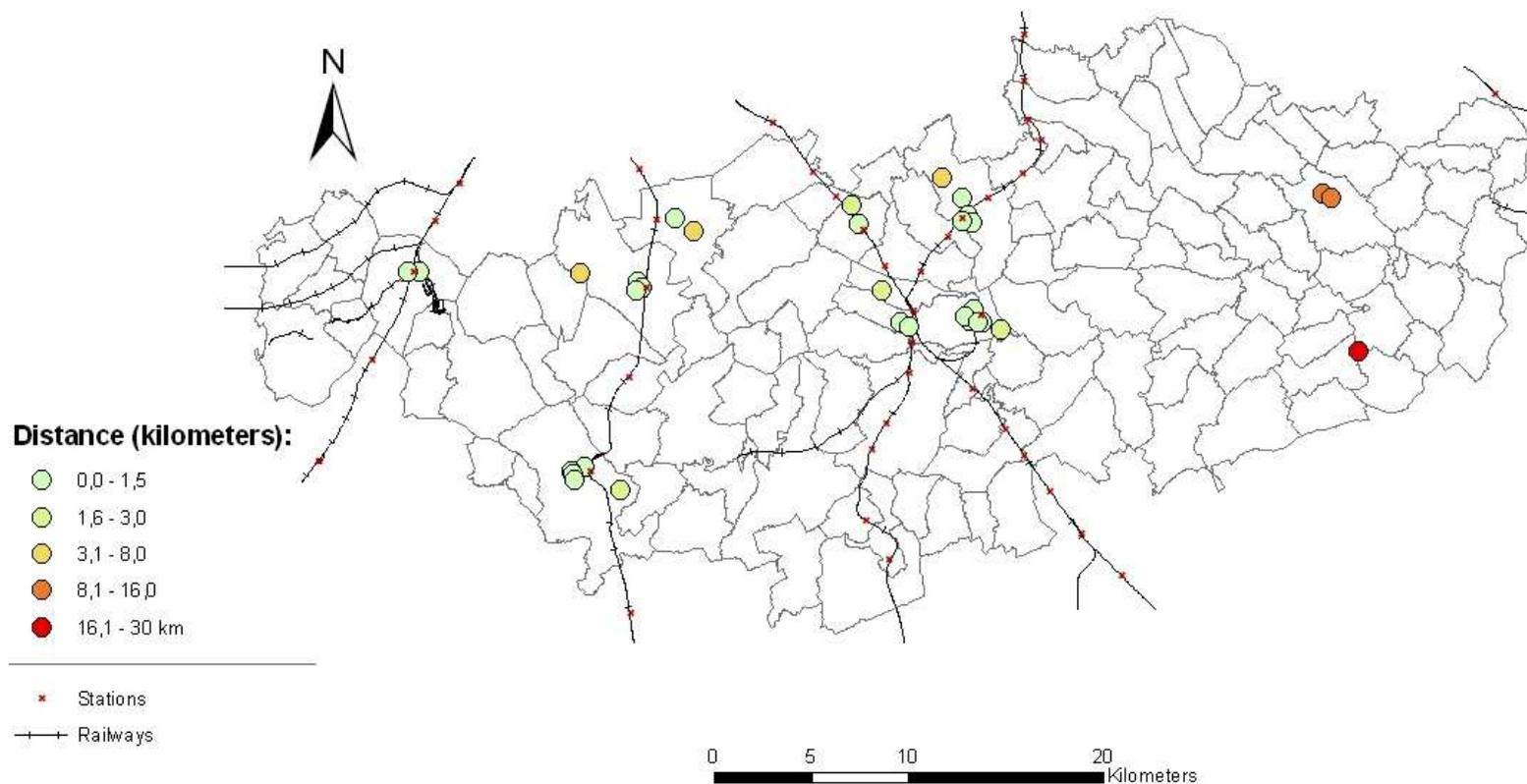


Classification method : Approximation of Natural Breaks

Carte 52 : Région de Bruxelles-Capitale – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d’emploi

Distance in kilometers between the high density job places* and the stations : Province of Walloon Brabant

* High density job places : statistical sectors with more than 850 jobs/km²



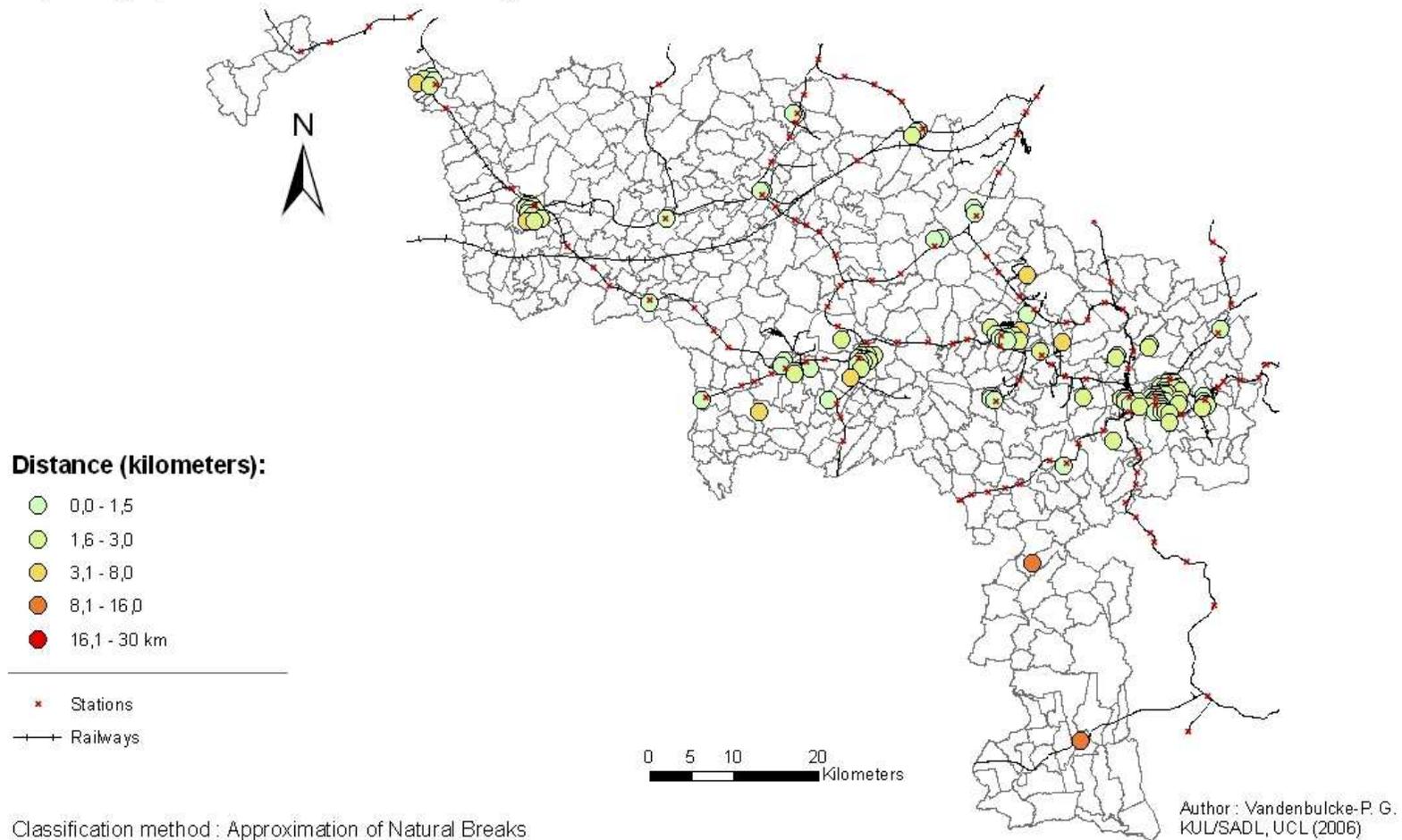
Classification method : Approximation of Natural Breaks

Author : Vandebulcke-P. G.
KUL/SADL, UCL (2006)

Carte 53 : Province du Brabant Wallon – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d’emploi

Distance in kilometers between the high density job places* and the stations : Province of Hainaut

* High density job places : statistical sectors with more than 850 jobs/km²

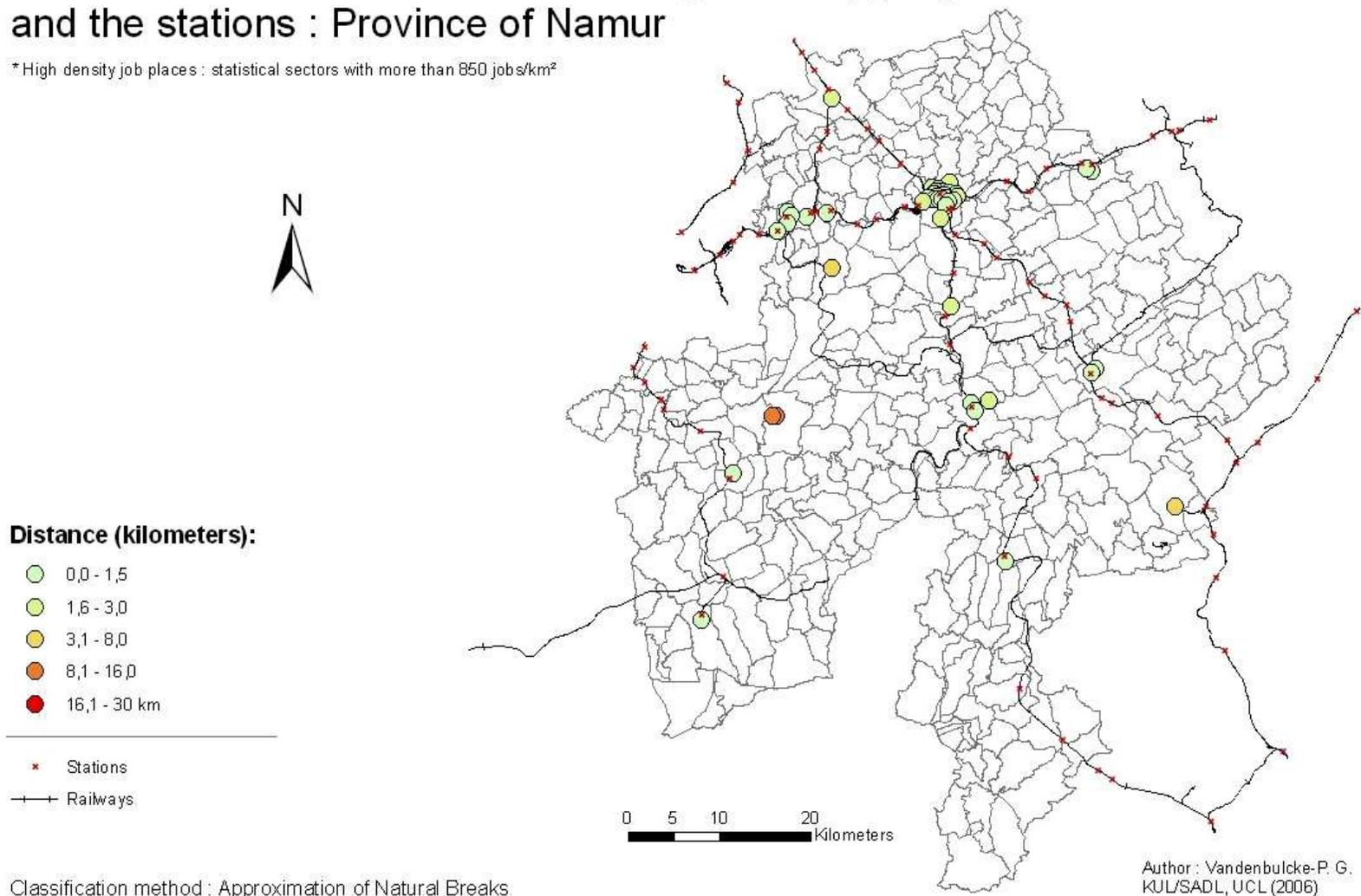


Classification method : Approximation of Natural Breaks

Carte 54 : Province du Hainaut – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d’emploi

Distance in kilometers between the high density job places* and the stations : Province of Namur

* High density job places : statistical sectors with more than 850 jobs/km²

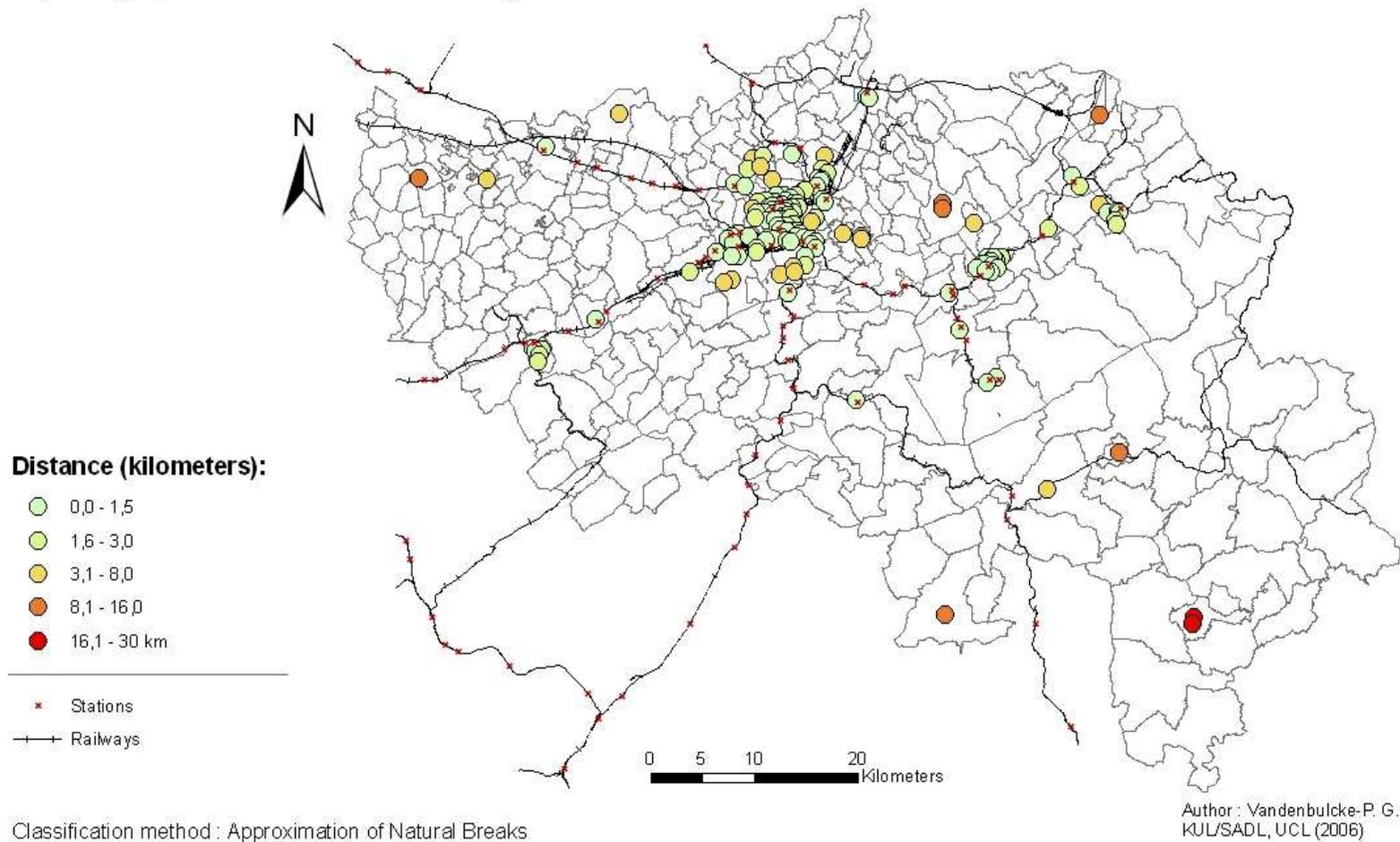


Classification method : Approximation of Natural Breaks

Carte 55 : Province de Namur – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d’emploi

Distance in kilometers between the high density job places* and the stations : Province of Liege

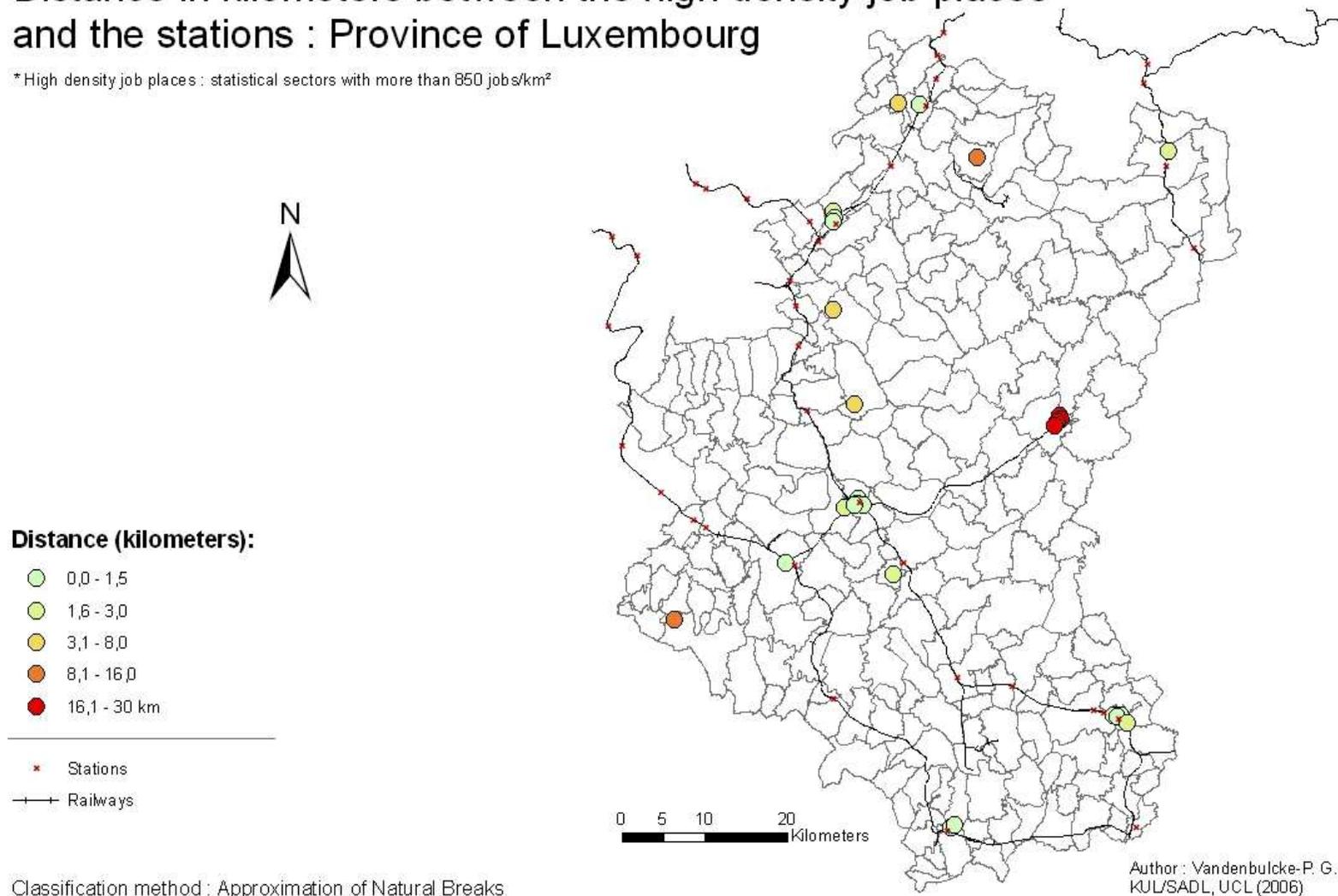
* High density job places : statistical sectors with more than 850 jobs/km²



Carte 56 : Province de Liège – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d’emploi

Distance in kilometers between the high density job places* and the stations : Province of Luxembourg

* High density job places : statistical sectors with more than 850 jobs/km²



Carte 57 : Province du Luxembourg – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d’emploi

7. Accessibilité des / aux stations de métro bruxelloises : structure fonctionnelle du réseau et isodistances

7.1. Données utilisées

Les différentes données **utilisées** dans cette analyse sont les suivantes :

- Base de données sur les différentes lignes de métro. Source : STIB-DOT, 2005.
- Base de données relative à la localisation des arrêts pour tout le réseau de la STIB. Source : STIB-DOT, 2006.
- Base de données relative au nombre de départs par jour et par ligne, avec le nombre de places offertes. Sources : STIB-DOT, 2005.
- Horaires de la STIB (deuxième semestre 2006). Source : Site Internet de la STIB ; Adresse URL : <http://www.stib.irisnet.be/>.
- Supports cartographiques des limites administratives communales (Région de Bruxelles-Capitale). Source : IGN.

7.2. Méthodologie et différentes étapes du travail

Avant d'aborder la méthodologie, il convient à nouveau de donner les informations suivantes:

- **Aire d'étude** : Région de Bruxelles-Capitale
- **Echelle d'analyse** : stations de métro (STIB)
- **Logiciels informatiques** utilisés : ArcGIS 9.1 (extension : Network Analyst) et SAS Enterprise Guide 3.0.

7.2.1. Méthodologie : calcul du temps généralisé

Comme pour les gares IC, l'**objectif** sera d'analyser l'effet de l'exploitation fonctionnelle du réseau de métro et d'évaluer dans quelle mesure cette dernière compense ou accentue les disparités propres à sa géométrie. A travers l'application d'une analyse de régression, nous observerons donc comment la STIB compense (ou accentue) l'éloignement géométrique de certaines stations de métro au travers de l'exploitation du réseau (par la mise en place des horaires, par exemple). La méthodologie est un peu différente de celle appliquée pour les gares IC ; grâce à un nombre de nœuds plus restreints que pour les gares IC, certaines améliorations ont pu être apportées grâce à l'intégration d'une mesure du temps plus complète pour représenter l'accessibilité temporelle (temps généralisé).

De l'abstraction du réseau de métro ont été dérivées **deux matrices carrées** (59 x 59), dites « des plus courts chemins ». La première a pu être construite très rapidement, grâce au Network Analyst, et reprend les relations en terme de distance kilométrique. A partir des données fournies par la STIB (DOT, 2005), nous avons, en effet, pu digitaliser le réseau de métro de telle sorte qu'il puisse être utilisé dans Network Analyst pour générer les distances d'une station à une autre. Concernant la deuxième matrice, celle-ci a dû être construite manuellement en calculant le **temps généralisé minimum** entre chacun des nœuds du réseau (c'est-à-dire les stations de métro). Dans le cas des stations de métro, le calcul du temps généralisé minimum revient à **minimiser la somme** des composantes temporelles suivantes : (1) le temps de transport en métro, (2) le temps d'attente à la station de départ, et (3) le temps

de correspondance pour passer d'une ligne à l'autre (s'il y a lieu). Formellement, le temps généralisé T_{ij} est donc noté de la manière suivante :

$$T_{ij} = t_{ij} + w_i + c_k$$

Où t_{ij} est le temps de transport en métro de i à j
 w_i est le temps d'attente à la station de départ i
 c_k est le temps de correspondance pour passer d'une ligne à l'autre (k = station de correspondance, par exemple Mérode ou Simonis)

Notons que, dans le cadre de cette analyse, le choix des nœuds a dû s'arrêter aux seules **stations de métro** de la STIB (59 nœuds) ; l'extension aux arrêts de tram et bus sort du cadre de cette analyse.

7.2.2. Calcul des différentes composantes de temps et construction de la matrice OD du temps généralisé

Pour obtenir le **temps de transport en métro** (t_{ij}), nous nous sommes basés sur les horaires officiels de la STIB, valables lors du deuxième semestre de l'année 2006. Seuls les jours ouvrables ont été considérés. Concernant le **temps d'attente à la station de départ** (w_i), nous nous sommes basés sur la fréquence journalière des rames de métros par ligne (Sources : STIB-DOT, 2005) et nous avons ensuite appliqué le même type de formule qui a été utilisé pour calculer le temps généralisé aux gares (voir section 5.2.7.2.).

Puisque la STIB ne distingue que 6 valeurs de fréquence différentes (une pour chaque ligne et une pour chaque direction), l'estimation du nombre de rames de métro par jour et par ligne est très théorique. En effet, sur une même ligne, le nombre de rames varie d'une station à l'autre et augmente ou diminue selon les périodes de la journée. Idéalement, il faudrait donc partir des horaires de la STIB et compter le nombre de rames qui s'arrêtent à chaque station (et, éventuellement, différencier entre périodes de la journée). Néanmoins, pour des raisons pratiques, nous n'avons pas tenu compte de la variation du nombre de rames par station et nous avons basé nos calculs sur les données (théoriques) de la STIB.

Le **temps de correspondance** (c_k) pour passer d'une ligne à l'autre a également été calculé sur base des horaires de la STIB. Pour une même station de correspondance k (par exemple, Mérode ou Simonis), il suffit de faire une simple différence entre l'heure d'arrivée du métro à la station k et l'heure de départ du prochain métro sur l'autre ligne. Néanmoins, on notera qu'il existe parfois d'importantes **différences de temps de correspondance selon la période** de la journée considérée **et selon la direction** prise sur le réseau. A titre d'exemple, le graphique placé ci-dessous (Figure 24) illustre la variation du temps de correspondance à Mérode, pour trois directions différentes et en fonction de la période de la journée considérée. Lorsqu'on compare les différentes directions entre elles, on remarque que la variation du temps de correspondance peut être très élevée (parfois près de 7 minutes de différence). De même, lorsqu'on confronte différentes périodes de la journée entre elles (pour une même direction), on constate que le temps de correspondance n'est pas le même à 6h00, à 12h00, ou encore à 23h00.

Puisque le temps de correspondance varie en fonction du moment de la journée et de la direction prise, plusieurs matrices devraient être calculées. Vu que l'ensemble de ce travail

sort du cadre de ce contrat, nous avons choisi d'ignorer la variation entre moments de la journée et de calculer la moyenne du temps de correspondance c_k sur toute la journée. Les variations de temps de correspondance par direction sont, par contre, conservées et intégrées dans la construction de la matrice OD du temps généralisé. En fonction de la direction prise sur le réseau, le temps de correspondance ne sera donc pas le même pour une station k considérée. Puisque le choix de l'itinéraire (par un individu supposé rationnel) est basé sur une minimisation du temps généralisé, on peut donc supposer que le temps de correspondance (qui varie en fonction de la direction prise) aura une influence importante sur les résultats d'accessibilité.

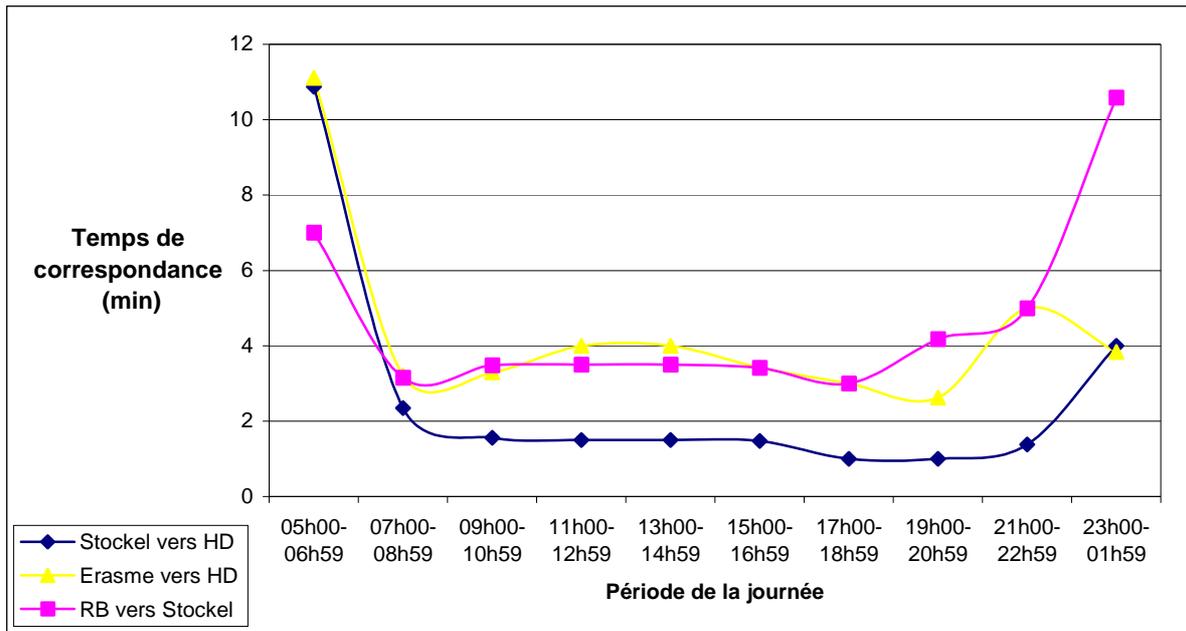


Figure 24 : Temps de correspondance à Mérode en fonction de la période de la journée et de la direction prise sur le réseau (2006)

Enfin, lorsqu'on additionne toutes les composantes de temps (t_{ij} , w_i et c_k), on obtient le temps généralisé T_{ij} , qu'on souhaitera **minimiser** pour aller de i à j . Ce n'est donc pas le temps de transport qui est minimisé dans la matrice OD, mais plutôt le temps généralisé. Pour chacun des itinéraires i - j , l'objectif est donc de minimiser la somme des différentes composantes de temps.

Notons que, contrairement aux gares IC, l'accessibilité des stations est mesurée **dans les deux directions de déplacement du métro** puisque le temps de correspondance varie selon la direction prise sur le réseau. En fonction de celle-ci, le temps généralisé variera donc et la matrice OD finale produira des indices de Shimbel qui sont différents selon que la somme est faite en ligne ou en colonne ; en d'autres termes, l'accessibilité « de » la station i (vers toutes les autres stations j) et l'accessibilité « vers » la station i (en partant de toutes les autres stations j) sont différenciées et conduisent à deux cartes bien distinctes. Ainsi, la construction de la matrice OD pour les 59 stations de métro (et dans les deux sens de déplacements) requiert le calcul manuel de :

$$N = n^2 - n = 3481 - 59 = 3422 \text{ couples}$$

Si nous avons repris l'ensemble des arrêts STIB (métro, tram, bus) pour construire la matrice (soit 2136 nœuds), le nombre de couples possibles aurait été de 4.560.360 pour les deux sens de déplacements (ou 2.280.180 si nous ne considérons qu'un seul sens), ce qui n'est pas faisable dans les limites du temps qui nous a été imparti.

7.2.3. Analyse des effets de l'exploitation du réseau de métro par la STIB

7.2.3.1. Construction des modèles régressifs et calcul des résidus studentisés

Comme ce fut le cas pour les gares IC (voir section 6.2.2.2.), nous utilisons à nouveau un **modèle régressif** pour analyser les effets de l'exploitation du réseau par la STIB. Mettant en relation l'accessibilité temporelle (temps généralisé⁸²) par rapport à l'accessibilité en termes de distance parcourue sur le réseau, le modèle régressif permet donc d'analyser quelle compensation temporelle a été apportée par la STIB pour corriger l'effet de la hiérarchisation des nœuds induite par la structure géométrique du réseau.

Afin de construire le modèle régressif, des **indices de Shimbél** sont construits, d'une part pour les distances kilométriques sur le réseau, et d'autre part, pour le temps généralisé tel qu'il a été défini ci-dessus⁸³. Puisque nous différencions l'accessibilité selon la direction prise sur le réseau, **deux modèles régressifs** devront être construits ici (un pour chaque direction). Pour chacun de ces modèles, une droite de régression linéaire est construite à partir du nuage de points. Chaque droite est alors utilisée pour calculer les résidus du modèle, qui représentent soit des pertes d'accessibilité relative (résidus positifs), soit des gains d'accessibilité relative (résidus négatifs). En d'autres termes, lorsque les résidus sont positifs pour une station de métro, celle-ci sera alors pénalisée par la STIB en regard de sa position au sein du réseau. Inversement, lorsque les résidus sont négatifs, la station considérée bénéficiera d'un service avantageux par rapport à sa position sur le réseau.

Graphiquement, les données relatives aux distances kilométriques parcourues (accessibilité kilométrique) sont placées en abscisse et les données temporelles (temps généralisé T_{ij}) sont placées en ordonnées. Puisque deux modèles régressifs sont construits dans le cadre de cette analyse (un par sens de déplacement sur le réseau), deux graphiques sont obtenus (voir Figures 25 et 26). Suite à l'analyse de ces graphiques, nous pouvons constater qu'il existe à chaque fois une relation entre l'accessibilité temporelle et l'accessibilité kilométrique. Pour chacune des directions de déplacement, les relations sont mises en évidence par des droites de régression (linéaires). Les équations des droites figurent sur les graphiques mais nous ne les détaillerons pas comme nous l'avons fait pour les gares IC. Nous signalerons juste que, dans les deux cas, le modèle régressif est significatif et la valeur du coefficient de détermination R^2 est élevée ($> 0,94$).

⁸² L'utilisation du temps généralisé (T_{ij}) pour représenter l'accessibilité temporelle permet d'obtenir des résultats plus réalistes que dans le cas des gares IC.

⁸³ Pour plus de détails sur la formulation de l'indice de Shimbél, nous renvoyons le lecteur à la partie relative à l'accessibilité potentielle (voir section 3.2.2.).

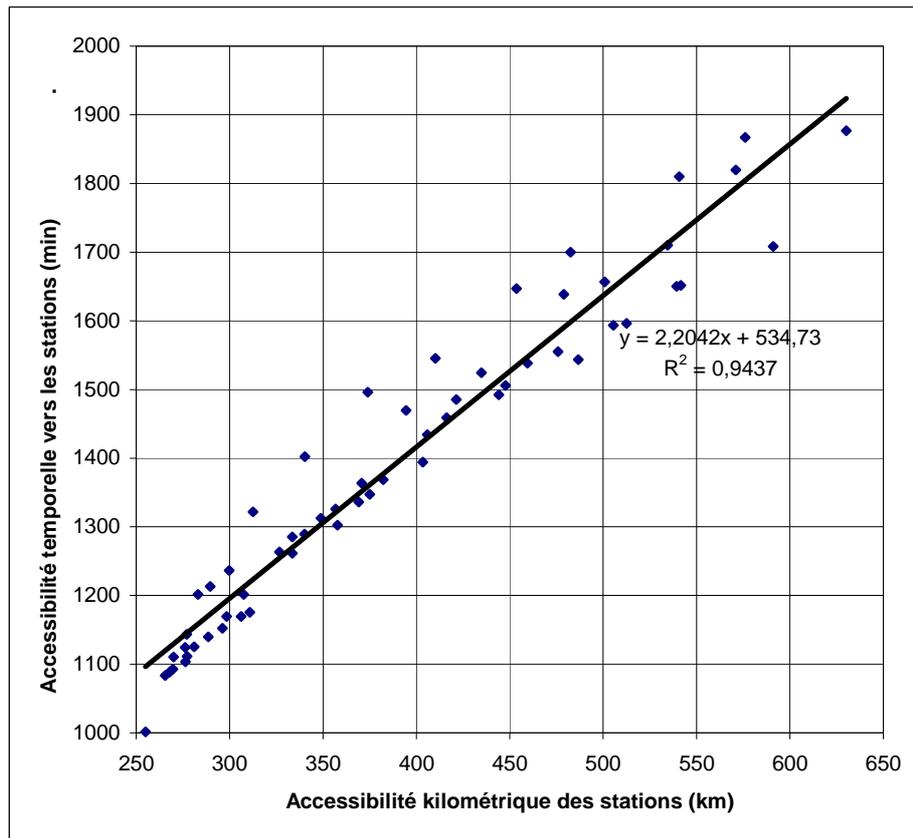


Figure 25 : Modèle régressif mettant en relation l'accessibilité temporelle (notée y) VERS les stations de métro (STIB) étudiées en 2006 par rapport à l'accessibilité en termes de distance parcourue sur le réseau (notée x)

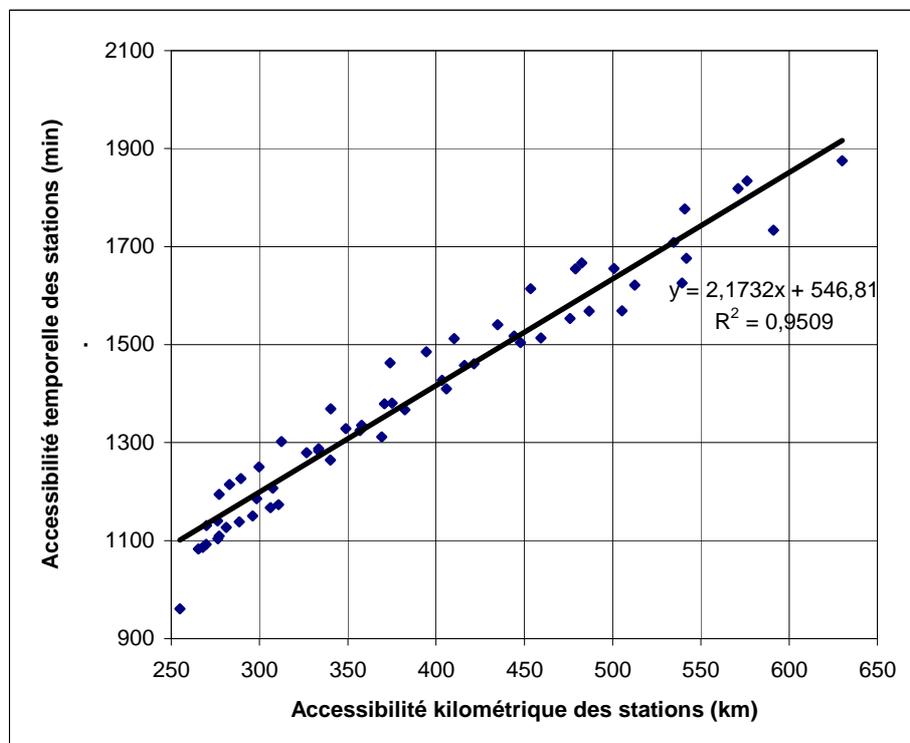


Figure 26 : Modèle régressif mettant en relation l'accessibilité temporelle (notée y) AU DEPART des stations de métro (STIB) étudiées en 2006 par rapport à l'accessibilité en termes de distance parcourue sur le réseau (notée x)

Comme pour les gares IC, **les modèles régressifs ne sont pas utilisés à des fins prédictives, mais ils attestent simplement d'un ajustement qui permet de caractériser chaque station de métro par une analyse des résidus de la régression** (Chesnais, 1991). Ces résidus permettent de déterminer l'effet de l'exploitation du réseau sur l'accessibilité de la station considérée, et donc de caractériser chaque station sur une échelle d'accessibilité ; ils montrent donc comment se positionne chaque station par rapport à une sorte de « **moyenne d'exploitation** ». Afin de ne pas biaiser l'interprétation des résultats, nous utiliserons à nouveau les résidus sous leur forme studentisée.

Enfin, de la même manière que nous l'avons fait pour les gares IC, un tableau illustrant le **classement des stations de métro** est placé en annexe (voir Annexe 3). La partie gauche du tableau reprend le classement des valeurs de résidus pour l'accessibilité d'une station i lorsqu'on veut aller vers celle-ci en partant de toutes les autres stations j . Par contre, la partie droite du tableau reprend le classement des valeurs de résidus pour l'accessibilité d'une station i lorsqu'on veut partir de celle-ci pour aller vers toutes les autres stations j . Dans les deux cas, les stations qui figurent parmi les premières positions du classement sont celles qui sont avantagées par l'exploitation du réseau par la STIB. Inversement : celles qui se retrouvent dans les dernières positions sont, par contre, désavantagées par l'exploitation qui est faite du réseau.

7.2.3.2. *Analyse des effets de l'exploitation du réseau par la STIB*

Quelle que soit le type d'accessibilité considéré (« au départ » ou « vers »), l'analyse de la cartographie des résidus montre que l'exploitation du réseau de métro favorise certaines stations au détriment d'autres (voir Cartes 58 et 59). Comme nous l'avons déjà mentionné auparavant, les résidus positifs (en rouge) correspondent à des pertes d'accessibilité relative, et les résidus négatifs (en vert) soulignent des gains d'accessibilité. En d'autres termes, lorsque les résidus sont positifs, la STIB pénalise certains nœuds par rapport à leur position sur le réseau. Inversement : lorsque les résidus sont négatifs, la STIB avantage certains nœuds par rapport à leur position sur le réseau. Notons que, pour des raisons pratiques, nous procéderons à une **analyse séparée** des deux cartographies (établies pour chacune des directions).

a) Accessibilité d'une station de métro i vers les autres stations j

L'analyse de la première carte (Carte 58) montre tout d'abord que le **tronçon commun aux lignes 1A et 1B** (Beekkant-Mérode) bénéficie d'un service avantageux. Au sein de ce tronçon commun (mais aussi au sein de l'ensemble du réseau), la station de métro Arts-Loi est d'ailleurs celle qui bénéficie de la meilleure desserte. Grâce à sa position centrale au sein du réseau et à son statut de station de correspondance vers la ligne 2, la station Arts-Loi est celle qui dispose du meilleur niveau d'accessibilité pour atteindre toutes les autres stations du réseau.

De manière très globale, la **ligne 1B** est également très bien desservie puisque presque toutes les stations de métro qui s'y trouvent ont des valeurs négatives de résidus. La seule exception à la règle est la station Eddy Merckx, ce qui s'explique probablement par le fait que le service offert n'est pas en mesure de compenser la localisation de la station au sein du réseau. En dehors de la station Eddy Merckx, les valeurs des résidus ne sont toutefois pas très négatives pour la ligne 1B, ce qui indique que la plupart des stations sont proches de la « moyenne

d'exploitation ». L'avantage dont elles bénéficient est donc fort peu perceptible, sauf dans le cas des stations de métro Arts-Loi (1^{ère} position du classement) et Stockel (2^{ème}).

Concernant la **ligne 1A**, seuls le tronçon commun (1A-1B) et la partie sud-est du réseau tirent profit d'un service avantageux par rapport à leur position sur le réseau. Les stations qui s'y trouvent disposent donc d'un bon niveau d'accessibilité pour atteindre le reste du réseau. Sur la ligne 1A, les stations qui bénéficient de la meilleure desserte sont les suivantes : Arts-Loi (1^{er}), Hermann-Debroux (3^{ème}) et Demey (4^{ème}). Par contre, le reste de la ligne 1A (tronçon Osseghe-Roi Baudouin) est fort pénalisé par le service offert par la STIB (ce qui s'explique probablement par la position très décentrée des stations par rapport au reste du réseau ; en outre, il semblerait que la STIB ne compense pas la mauvaise localisation des stations via la mise en place d'un meilleur niveau de desserte). Seule la station Simonis bénéficie d'un service relativement avantageux ; en effet, son statut de station de correspondance (entre la ligne 1A et la ligne 2) permet d'améliorer son niveau d'accessibilité.

Enfin, les stations de métro situées sur la **ligne 2** sont, pour la plupart, désavantagées lorsqu'il s'agit d'accéder au reste du réseau. Pour arriver aux autres stations (sur les lignes 1A et 1B), il faut effectivement changer de ligne à Simonis ou à Arts-Loi, et donc « subir » un **temps de correspondance**. Puisque la majorité des stations se trouvent sur les lignes 1A et 1B, le nombre de fois qu'il faut changer de ligne pour accéder à d'autres stations est donc très élevé (d'où les résidus positifs). Malgré le temps de correspondance nécessaire pour accéder à la plupart des autres stations *j* du réseau, certaines stations de la ligne 2 sont toutefois proches de la « moyenne d'exploitation » et bénéficient d'un service légèrement avantageux. Il s'agit des stations suivantes : Hôtel des Monnaies, Louise, Porte de Namur, Arts-Loi, et Madou. La proximité de ces stations par rapport à Arts-Loi (station de correspondance) et leur très forte centralité au sein du réseau expliquent probablement ces valeurs négatives des résidus.

*b) Accessibilité d'une station *i* à partir des autres stations *j**

L'analyse de la Carte 59 ne montre pas de très grandes différences par rapport à la Carte 58, c'est pourquoi nous n'allons évoquer ici que les principaux changements entre les deux mesures d'accessibilité. Une première constatation à faire est que, dans le cas de la **ligne 2**, les résidus des stations sont nettement moins positifs que dans le cas qui précède. Dans le cas de la Porte de Hal et du jardin Botanique, les résidus deviennent même négatifs, indiquant ainsi un bon niveau d'accessibilité lorsqu'on se dirige vers ces stations (en partant de toutes les autres stations de métro).

Comme deuxième constatation, nous pouvons signaler que toute la **ligne 1B** devient positive en termes de résidus. En effet, la station Eddy Merckx n'est plus positive et se rapproche de la « moyenne d'exploitation » du réseau. En outre, les stations terminales de la ligne 1B (partie nord-est) acquièrent également un meilleur niveau de service ; c'est ainsi que Kraainem, Alma et Vandervelde se placent dans le haut du classement des résidus (voir tableau). La station Stockel arrive même en première place du classement, devant Arts-Loi. L'accessibilité vers ces stations de la ligne 1B est donc fortement favorisée par la STIB.

Enfin, sur la **ligne 1A**, un grand nombre de stations voient leurs résidus augmenter par rapport au cas précédent (traduisant ainsi une perte en accessibilité). Dans la partie nord-ouest de la ligne 1A (Osseghe-Roi Baudouin⁸⁴), l'augmentation des résidus fait que l'accessibilité vers

⁸⁴ Sauf Simonis.

les stations de métro est très fortement pénalisée. Dans la partie sud-est de la ligne (Mérode-Herrmann-Debroux), le service est, par contre, avantageux mais subit une légère perte en accessibilité lorsqu'on compare avec la Carte 58. L'accessibilité vers les stations du sud-est du réseau est donc favorisée, mais elle l'est moins que dans le cas où on quitte ces stations pour se rendre vers le reste du réseau.

7.3. Accessibilité aux stations de métro : génération d'isodistances

En dehors du calcul de résidus studentisés, nous avons aussi appliqué une analyse de l'accessibilité aux stations de métro en partant de n'importe quel point en Région bruxelloise. Pour ce faire, l'utilisation d'isodistances (lignes joignant des points de même distance) et de « buffers » (surfaces d'égale distance tracées autour d'un ou plusieurs objets géographiques, ici les stations de métro) permet de se donner une idée des distances qu'il faut parcourir pour arriver à la station de métro la plus proche. L'objectif de ce type de méthode est d'identifier les zones périphériques par rapport à la localisation des stations de métro. Notons aussi que son application est très facilement applicable à d'autres échelles (province, pays, ...) et à d'autres modes de transport. D'autres unités que les distances peuvent également être utilisées pour cartographier les isolignes (par exemple, le temps, le coût monétaire, ...).

Très facilement applicable dans l'extension Network Analyst, les isodistances ont été générées sur base de la distance parcourue **le long du réseau routier** pour rejoindre la **station de métro la plus proche**. Puisque la plupart des déplacements vers les stations de métro se fait généralement à pied (voire même en vélo), nous avons décidé d'exclure la possibilité de se déplacer le long des autoroutes ou autres grandes voies express. En effet, ce type d'infrastructure n'est généralement pas conçu pour favoriser le déplacement de piétons ou de cyclistes ; cela a plutôt pour but de promouvoir la fonction de mobilité, et donc de faciliter le transit des automobilistes. En outre, si l'analyse se limite à la Région de Bruxelles-Capitale, les déplacements peuvent se faire en dehors de celle-ci pour rejoindre la station de métro la plus proche (ce qui est, en soi, plus logique).

Conformément à l'attente, la cartographie des résultats montre que seules les parties nord (Bruxelles-Haren) et sud (Uccle et Watermael-Boitsfort) de la Région sont moins accessibles (car situées à plus de 5,5 km de la station de métro la plus proche). Par contre, le centre de Bruxelles bénéficie d'un niveau d'accessibilité très élevé. Il en est de même pour certains quartiers situés dans les communes d'Etterbeek, Woluwe-Saint-Lambert, Auderghem, Saint-Gilles, Anderlecht, Molenbeek-Saint-Jean, Koekelberg, et Jette.

Par comparaison avec des cartes de densités de population et d'emplois en Région bruxelloise (Charlier *et al.*, 2004), on peut voir que les quartiers qui sont situés à proximité des stations de métro sont ceux qui sont les plus densément peuplés (et/ou les plus actifs). La capacité offerte par le métro est, en effet, bien supérieure à celle des trams et des bus, ce qui justifie le tracé des lignes de métro. Néanmoins, des quartiers denses comme ceux situés au nord de la commune de Schaerbeek ou au nord de la commune d'Uccle ne sont pas desservis par le métro. En passant d'abord par des analyses coûts-bénéfices et des études d'incidences, la création d'une ligne nord-sud (reliée à la ligne 2, ou passant par Arts-Loi) aurait donc le double avantage de desservir plus efficacement ces quartiers denses et d'améliorer l'accessibilité des parties nord et sud de la Région. En outre, certains navetteurs venant en voiture du nord de la Région (par exemple, via l'autoroute Antwerpen-Bruxelles) pourraient également tirer profit de la présence d'une station de métro pour accéder plus rapidement à

leur lieu de travail (si celui-ci est situé dans le centre de la ville). Il faudrait toutefois mettre en œuvre des mesures d'accompagnement, telles que la construction de parkings dissuasifs ainsi que d'une sortie d'autoroute menant directement au terminus de la ligne nouvellement créée (le ring étant saturé de manière chronique, les usagers de la route trouveraient probablement avantageux de trouver un échappatoire au contournement du ring ou à s'engouffrer dans la ville).

7.4. Critique des résultats

7.4.1. Critique de la méthode des résidus studentisés

Les **aspects positifs** associés à l'analyse de la structure fonctionnelle du réseau de métro sont relativement semblables à ceux tirés de l'analyse de l'accessibilité des gares IC :

- i. Comme nous l'avons fait remarquer pour les gares IC, l'application d'une comparaison de données (distances kilométriques et distances temporelles) par analyse de régression est **utile pour analyser l'effet de l'exploitation d'un quelconque réseau de transport**. En effet, en faisant référence à une sorte de « moyenne d'exploitation » (qui correspond à la droite de régression), nous pouvons distinguer quel(les) sont les stations/gares/arrêts qui sont pénalisé(e)s (résidus positifs) et quel(le)s sont celles (ceux) qui sont avantagé(e)s (résidus négatifs) par l'exploitation du réseau.
- ii. Même si l'encodage des données temporelles prend un certain temps à réaliser, la **faisabilité technique** ainsi que la **facilité d'interprétation** et de compréhension des résultats sont des éléments qui soulignent l'intérêt d'utiliser une telle méthode afin d'évaluer l'accessibilité de nœuds (gares, arrêts de bus, arrêts de métro, ...) pour un réseau de transport déterminé.
- iii. L'**utilisation du temps généralisé** dans le modèle régressif permet d'obtenir des résultats plus représentatifs du niveau de service offert. Par exemple, dans le cas du réseau de métro, le temps de correspondance a une influence importante sur le temps (réel) de station-à-station et doit donc être pris en compte dans la mesure du temps généralisé.
- iv. Le calcul des résidus pour les stations de métro confirme que la méthode est **applicable à d'autres échelles et pour d'autres réseaux** que les lignes de métro. Il serait donc intéressant d'effectuer le même genre d'analyse à d'autres modes de transport et pour d'autres aires d'études (par exemple, pour le bus et à l'échelle d'un groupe de communes⁸⁵).
- v. Contrairement aux résidus calculés pour les gares IC, une **distinction est faite entre l'accessibilité vers** les autres stations de métro j (en partant de la station de métro i) et l'**accessibilité à partir de** la station de métro i considérée (vers toutes les autres stations j).

Enfin, les **inconvenients** associés à l'analyse sont les suivants :

- i. Pour des raisons pratiques, **seules les stations de métro ont été sélectionnées** dans le cadre de cette analyse. Afin d'avoir une idée plus précise de la desserte offerte par la STIB à Bruxelles, il aurait toutefois été intéressant de choisir un plus grand

⁸⁵ Choisi non aléatoirement ; par exemple, des communes groupées dans un même Plan Communal de Mobilité (dans le cas de la Région Wallonne).

nombre de nœuds (arrêts de bus/tram). Néanmoins, ce type de précision s'accompagne inévitablement d'une augmentation de la taille de la matrice (et donc du temps d'encodage et de traitement).

- ii. Outre le nombre de terminaux à prendre en compte dans l'analyse, les résultats sont encore perfectibles en analysant la **sensibilité des résultats en fonction de la variation journalière du temps de correspondance**. Un comptage exact du nombre de rames de métros (par période et par stations) pourrait également affiner les résultats ; on intégrerait ainsi une plus grande variation du temps moyen d'attente entre stations de métro. Comme conséquence, le temps moyen d'attente aurait une plus grande influence sur le calcul des résidus.

7.4.2. Critique de la méthode des isodistances

Les **aspects positifs** associés à l'analyse de l'accessibilité aux stations de métro STIB sont les suivants :

- i. La génération d'isodistances est relativement **simple à appliquer** et donne des résultats **faciles à interpréter** ; la méthode permet d'identifier très rapidement l'accessibilité des lieux.
- ii. Comme déjà mentionné précédemment, la méthode des isolignes est **applicable à d'autres modes de transport et à d'autres échelles**. En outre, d'autres unités que les distances peuvent être utilisées pour avoir une idée de l'accessibilité des lieux (unités de temps, unités monétaires, ...).
- iii. Moyennant quelques améliorations, ce type de mesure peut être très **utile en aménagement du territoire ou en politique de transport**. Dans le cadre de l'aménagement du territoire, cela peut, par exemple, servir à l'implantation de nouveaux lotissements (à forte densité de population) ou d'entreprises.
- iv. Enfin, il faut encore remarquer que la méthode des isolignes ne cartographie pas les résultats à l'échelle de la commune ou de l'ancienne commune. Cette méthode a donc l'avantage de ne pas considérer les limites administratives et de représenter une **variation graduelle de l'accessibilité** dans l'espace.

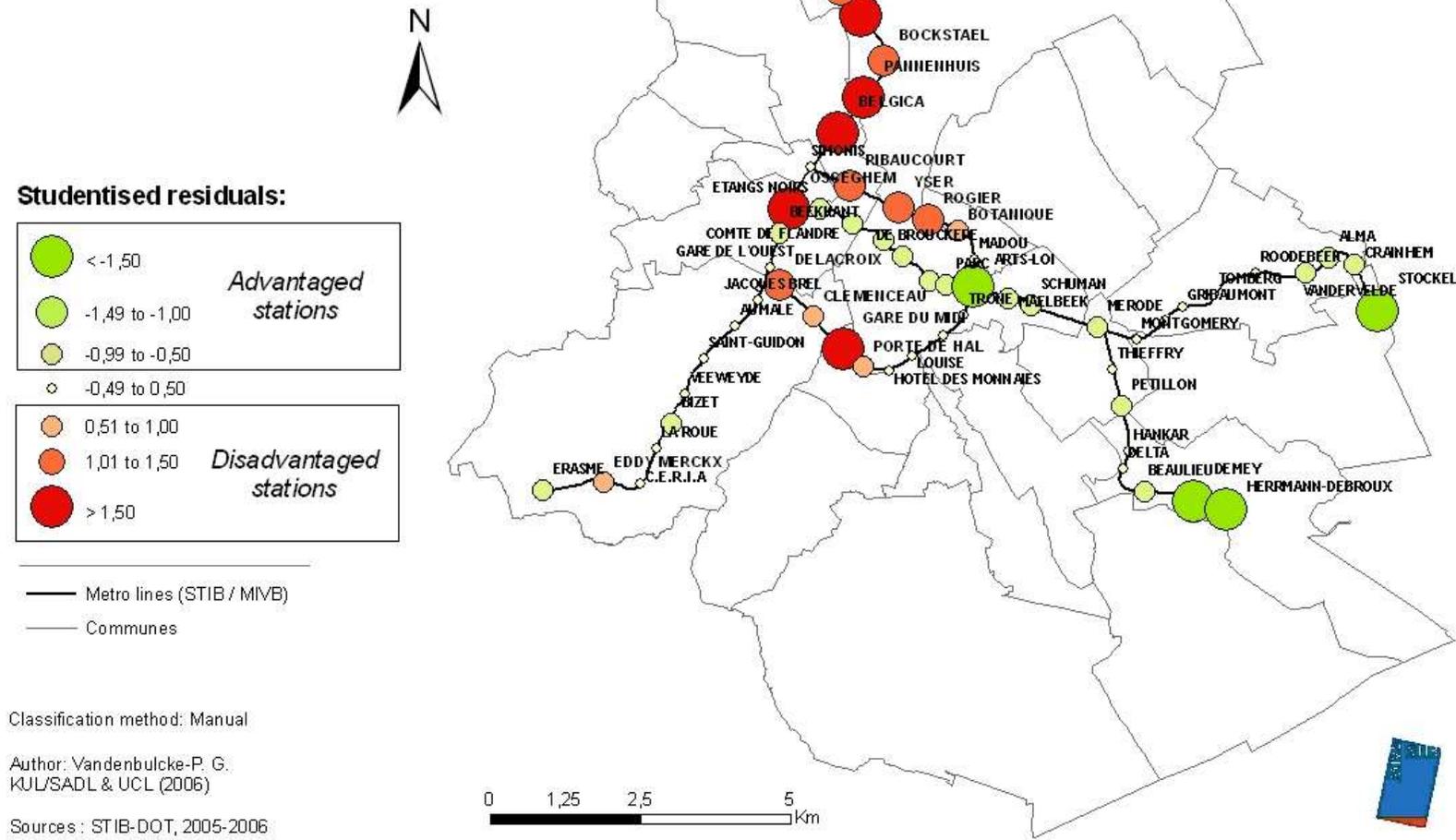
Les **aspects négatifs** associés à l'analyse de l'accessibilité aux stations de métro STIB sont les suivants :

- i. Malgré la facilité d'interprétation et de mise en œuvre de la méthode, certaines **améliorations** (établies en fonction de l'objectif) devraient être apportées dans la mesure. Par exemple, il serait intéressant d'intégrer une pondération des lieux en fonction de leur niveau de desserte, ou, dans le cadre des personnes à mobilité réduite (PMR), d'affiner les résultats en définissant au préalable quelles sont les stations qui sont accessibles aux PMR (on pourrait également faire le même type de démarche pour les stations accessibles en vélo, ...).
- ii. L'application utilisée ici se limite seulement aux **stations de métro** ; selon l'objectif recherché, il est également envisageable de travailler sur d'autres modes de transport et à d'autres échelles. Dans la suite de ce rapport, nous utiliserons ainsi la même méthode pour analyser l'accessibilité de la population et des emplois aux arrêts de bus (à l'échelle des communes).

Metro - Brussels Capital Region

Accessibility of metro stations: Effects of exploitation by STIB / MIVB (2006)

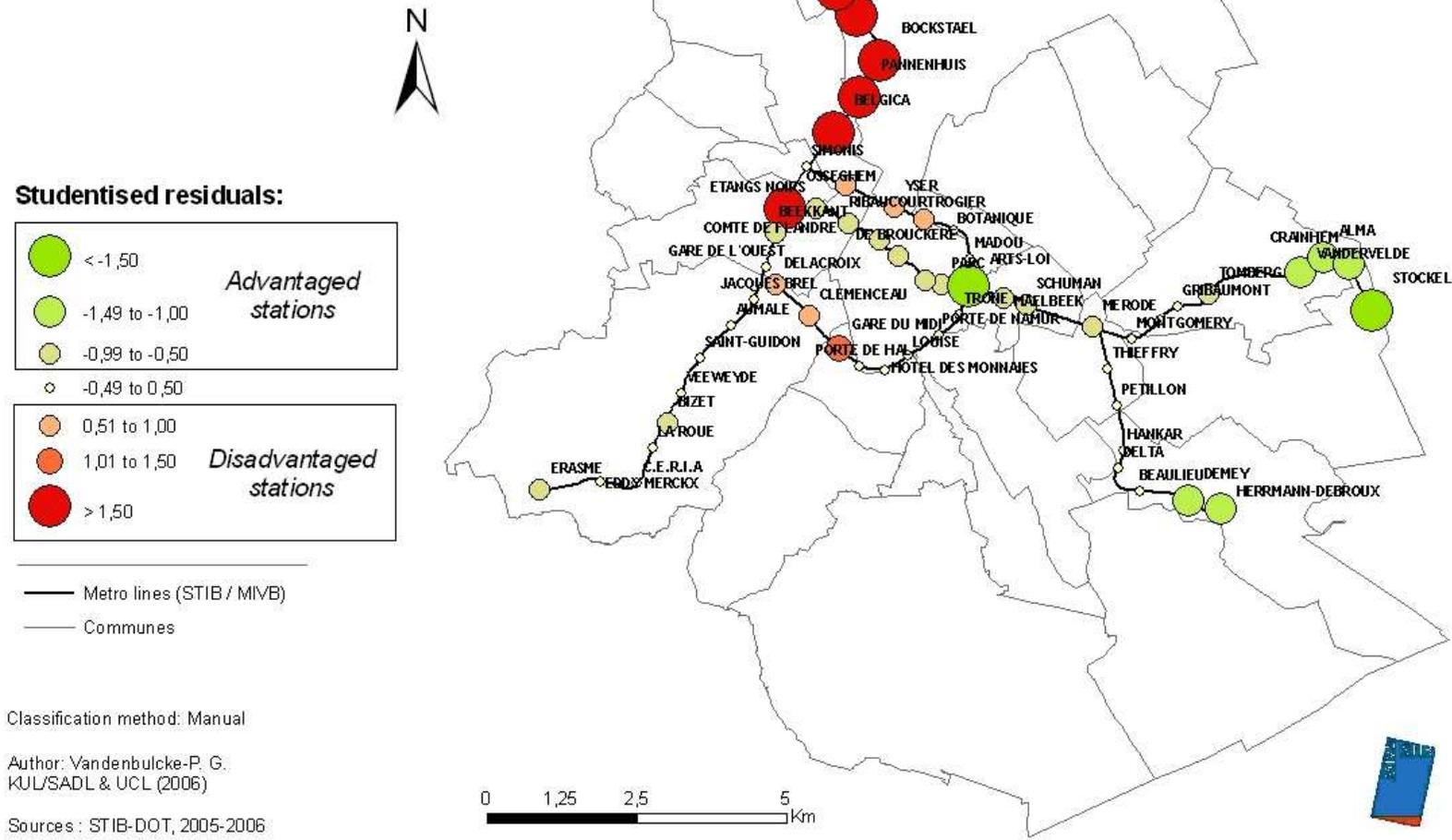
Regressing generalised time by kilometers



Carte 58 : Accessibilité d'une station de métro i vers les autres stations j – Effets de l'exploitation par la STIB (2006)

Metro - Brussels Capital Region Accessibility to metro stations: Effects of exploitation by STIB / MIVB (2006)

Regressing generalised time by kilometers

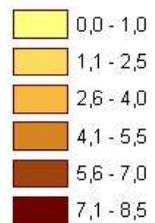


Carte 59 : Accessibilité d'une station de métro i à partir des autres stations j – Effets de l'exploitation par la STIB (2006)

Metro - Brussels Capital Region Distance* to the closest metro station STIB / MIVB

* Distance expressed in kilometers and calculated along the road network (except motorways)

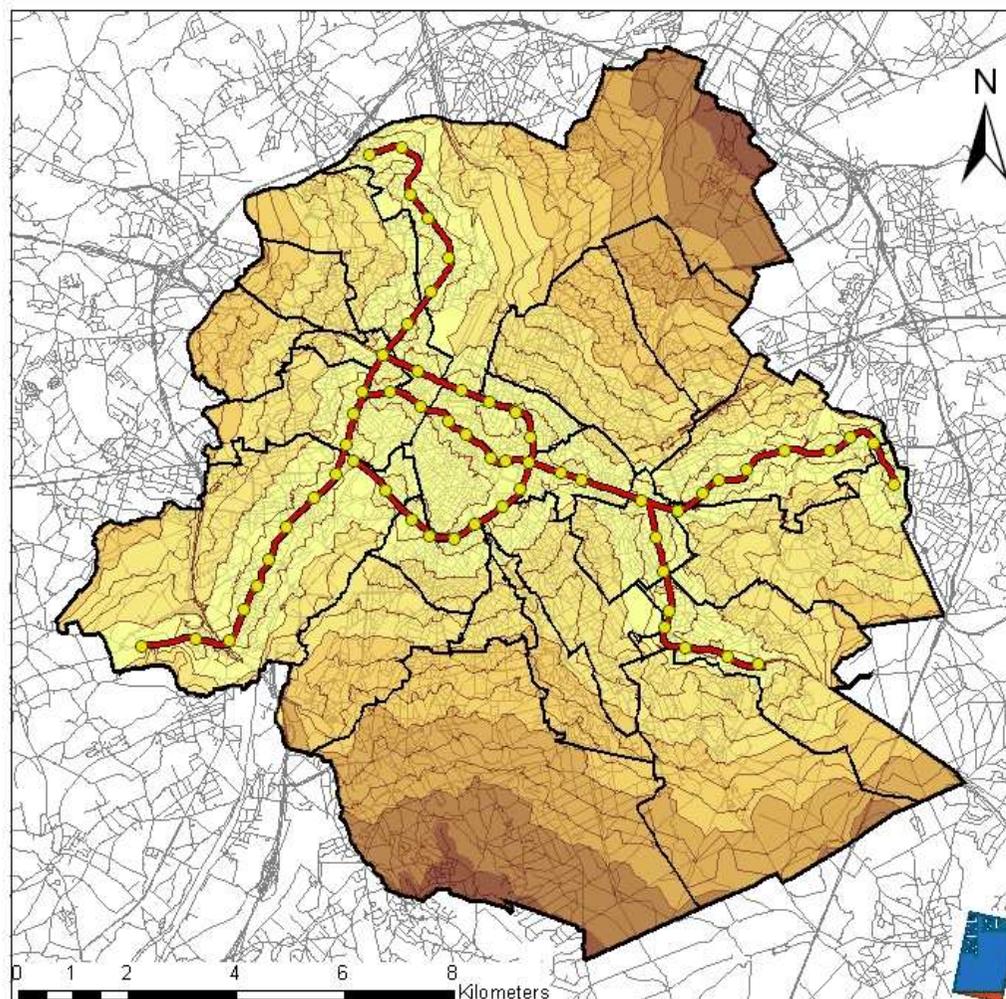
Distance (km):



-  Metro stations
-  Metro lines
-  Communes
-  Road network

Author : Vandembulcke-P. G.
KUL/SADL & UCL (2006)

Sources : STIB-DOT, 2005-2006 ; STIB Time-tables, 2006



Carte 60 : Isodistances et buffers – Distance à la station de métro (STIB) la plus proche

8. Accessibilité aux arrêts de transports en commun (STIB, TEC, De Lijn) : buffers et isodistances

8.1. Récolte des données

Les différentes données **utilisées** dans cette analyse sont les suivantes :

- Base de données relative à la localisation des arrêts pour tout le réseau de la STIB (bus, tram, métro). Source : STIB-DOT, 2006.
- Base de données relative à la localisation des arrêts pour tout le réseau TEC (bus). Source : LEPUR-Ulg.
- Base de données relative à la localisation des arrêts pour tout le réseau De Lijn (bus, tram). Source : SADL/KUL.
- Banque de données sur la population et l'emploi par commune (01/10/2001). Source : INS (voir <http://statbel.fgov.be/>)
- Supports cartographiques des limites administratives (régions, communes, et anciennes communes). Source : IGN.

8.2. Méthodologie et différentes étapes du travail

Avant d'aborder la méthodologie, il convient à nouveau de donner les informations suivantes:

- **Aire d'étude** : Echantillon de communes par région
- **Echelle d'analyse** : arrêts de transports en commun
- **Logiciels informatiques** utilisés : ArcGIS 9.1 (extension : Network Analyst)

8.2.1. Méthodologie : calcul du temps généralisé

De la même manière que cela a été fait pour les stations de métro (STIB), nous utilisons ici des isodistances et des buffers afin d'analyser l'accessibilité de la population et des emplois vers les arrêts de bus et autres transports en commun (STIB, TEC, De Lijn). Dans le cas présent, l'objectif de la méthode n'est pas d'identifier les zones les plus périphériques / accessibles par rapport à la localisation des arrêts, mais plutôt de **quantifier la proportion d'habitants et d'emplois par intervalle de distance (ou buffer) autour des arrêts**. Pour ce faire, nous tirerons profit de l'avantage des superpositions des couches d'information des SIG pour produire des calculs annexes. Ces derniers nous permettront alors d'aboutir à la quantification de l'accessibilité aux arrêts et à une analyse comparative entre communes et régions.

Comme pour l'accessibilité aux stations de métro, les isodistances ont été générées sur base de la distance parcourue **le long du réseau routier** (sauf autoroutes et voies rapides) pour rejoindre **l'arrêt de transport public le plus proche**. Afin d'alléger les traitements, nous nous sommes limités à un **échantillon de communes** pour faire l'analyse. Cet échantillon est non aléatoire puisque, dans un souci de comparaison, nous avons décidé de reprendre des communes qui sont caractérisées par différents niveaux d'urbanisation et qui font partie de régions différentes (Région bruxelloise, Région flamande, et Région wallonne).

Dans la **Région flamande**, les trois communes suivantes ont été choisies : Leuven, Herent, et Bertem. Chef-lieu de la province du Brabant Flamand, la première commune (Leuven) est

urbaine et compte environ 90.000 habitants et 35.000 emplois. La commune de Herent fait partie de la banlieue de Leuven (Charlier *et al.*, 2004) et compte, quant à elle, 20.000 habitants et 2.500 emplois. Enfin, la commune de Bertem est une commune-dortoir pour les navetteurs qui se rendent journalièrement à Bruxelles ou à Leuven. Elle compte environ 8.900 habitants et 800 emplois seulement.

En **Région wallonne**, les communes qui ont été sélectionnées sont les suivantes : Wavre, Ottignies-Louvain-la-Neuve, et Chaumont-Gistoux. Wavre est une ville qui compte environ 31.500 habitants et 7.200 emplois. Comptant environ 28.000 habitants et plus de 9.000 emplois, la ville d'Ottignies-Louvain-la-Neuve est universitaire et piétonne sur la partie louvaniste du territoire (contrairement à Wavre, où les infrastructures de transport sont majoritairement centrées sur l'automobile). Enfin, la dernière commune (Chaumont-Gistoux) est de type rural et compte environ 10.500 habitants et un peu plus de 600 emplois. Malgré une desserte en bus assurée par les transports en commun (TEC), cette commune de l'est du Brabant Wallon vit à l'heure de l'hégémonie automobile et compte ainsi un grand nombre de navetteurs qui se rendent journalièrement à Bruxelles en voiture.

Enfin, en **Région bruxelloise**, toutes les communes ont été choisies, ce qui représente environ 1.000.000 d'habitants et 500.000 emplois. Entièrement urbanisée, cette ville-région compte 19 communes et dispose d'une desserte en transports en commun qui est très fine comparativement aux autres communes wallonnes et flamandes.

8.2.2. Analyse des résultats

Dans cette section, les résultats sont issus de traitements faits à partir de « buffers » (ou aires de service ; voir Figure 27) et sont présentés sous forme de graphiques. Lorsqu'on fait l'analyse pour Leuven (Figure 28), on constate tout d'abord que plus de 50 % des habitants et emplois sont à moins de 250 m des arrêts de bus, que ce pourcentage approche les 90 % pour une distance de 500 m, et que presque tous les habitants et emplois de la commune sont à moins de 1 km des arrêts (99 %). Par contre, pour des communes moins importantes comme Bertem et Herent (Figures 29 et 30), les pourcentages atteignent des valeurs inférieures (35-50 %) à celles de Leuven lorsque les distances sont inférieures à 250 m. On remarquera aussi que l'augmentation des valeurs de pourcentages cumulés est moins rapide, et que la capacité (100 %) n'est atteinte que pour des distances supérieures à 1,5 km. Très logiquement, la desserte dans des plus petites villes (Herent) ou en zone rurale (Bertem) est donc moins fine (et moins « proche ») que celle assurée en zone urbaine (Leuven).

Curieusement, on remarquera aussi que les arrêts de bus de la commune de Bertem (rural) sont plus accessibles à la population et aux emplois qu'à Herent (urbain). Ce type de résultat s'explique probablement par la plus forte dispersion de l'habitat dans la commune de Herent, mais aussi par la localisation des arrêts par rapport à cet habitat. La nécessité de **concentrer l'habitat et les activités** est donc primordiale pour assurer une meilleure proximité de l'emploi et des habitants par rapport aux transports en commun. En outre, cette concentration devrait surtout se faire dans des secteurs/quartiers où la desserte est privilégiée (en termes de vitesse, de fréquence, de disponibilité en places de parking, ...), **de sorte que les investissements en transports n'augmentent pas avec la dispersion de l'habitat et que le choix modal soit orienté vers une utilisation accrue des transports en commun**. Ainsi, au sein des trois communes envisagées, les nouveaux développements (lotissements, entreprises, etc.) devraient se faire, de préférence, dans les zones les plus accessibles aux transports en

commun (par exemple, près de la gare de Leuven, ou à moins de 500 m d'un arrêt de bus correctement desservi). Lorsqu'il n'y a plus de terrains disponibles autour des zones les plus accessibles (et même après redéveloppement de certaines friches), les zones qui sont un peu moins accessibles (mais qui sont toujours considérées comme très accessibles) devraient alors être envisagées pour pouvoir établir de nouvelles implantations. Et ainsi de suite. Le principe serait donc d'établir un ordre hiérarchique d'accessibilité aux transports en commun et d'adapter l'aménagement du territoire en fonction. Parallèlement à la concentration de l'habitat dans les zones les plus accessibles, la **localisation des arrêts** doit également être optimale et se faire en fonction des concentrations d'habitats et d'activités, notamment pour desservir un maximum d'habitants et d'emplois.

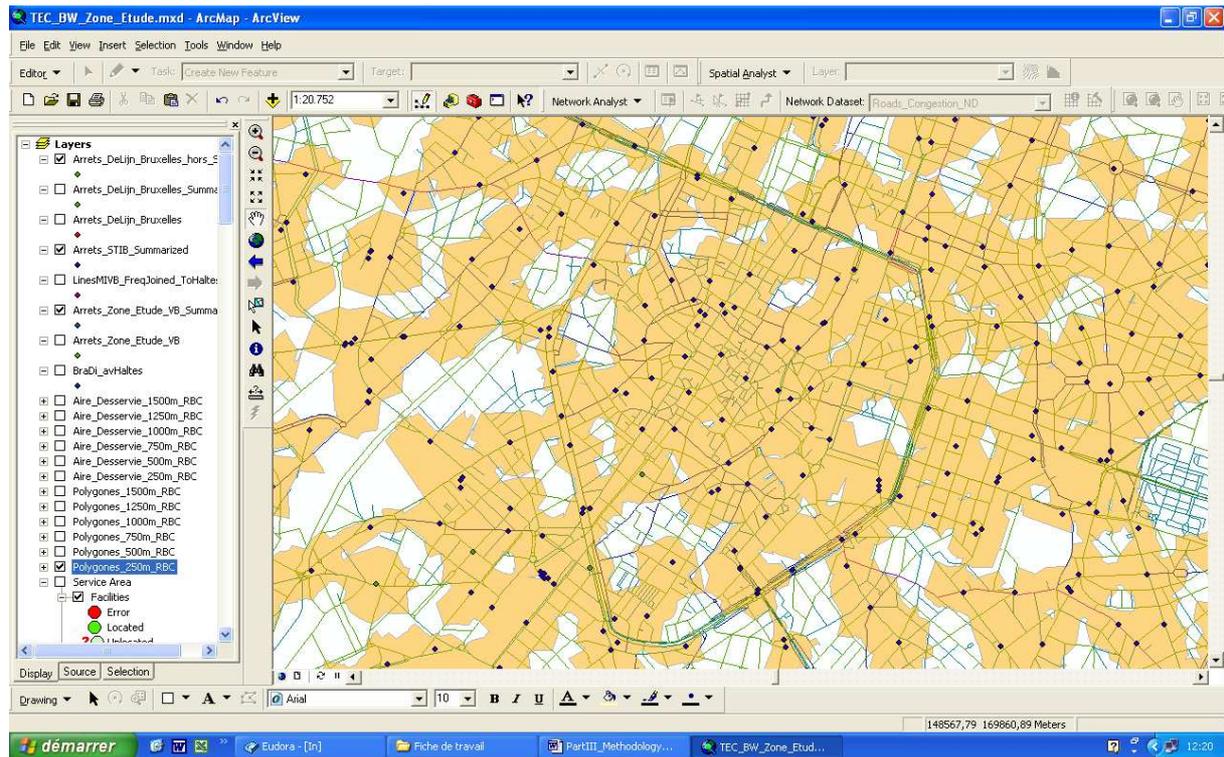


Figure 27 : Illustration d'aires de service (0-250 m) autour des arrêts de bus STIB (et quelques arrêts De Lijn), à Bruxelles. Sur l'image, les aires de service sont coloriées en orange et les arrêts correspondent aux points (bleus : STIB ; verts : De Lijn). Le réseau routier est également placé en arrière plan, pour montrer son influence sur la forme des aires de service (par exemple, aire de service en forme d'étoile, en haut à droite).

Par exemple, si on se limite aux trois communes flamandes envisagées dans le cadre de cette étude (Leuven, Herent et Bertem), les zones ou les quartiers les plus accessibles de Leuven arriveraient en première position pour l'implantation de nouveaux lotissements, ou encore de nouvelles entreprises. En effet, la desserte déjà très fine ainsi que la présence d'une gare importante et d'un grand nombre d'arrêts de bus justifient le choix de cette commune pour de nouvelles implantations. Lorsqu'il n'y a plus de terrains disponibles à Leuven (et même après revitalisation des certains quartiers), la commune de Herent viendrait en deuxième position pour l'implantation de lotissements et d'entreprises (de préférence, développés dans les zones accessibles de la commune). Malgré que la desserte en bus ne soit pas aussi bonne que celle de la commune de Bertem, la présence d'une gare et d'une population déjà importante justifient le choix de la commune de Herent ; moyennant un réajustement de la localisation des arrêts, la concentration de l'habitat à Herent permettrait non seulement de diminuer la dispersion de l'habitat, mais aussi d'offrir un meilleur niveau d'accessibilité (en transports en commun) à un maximum de personnes. En outre, les coûts environnementaux (barrières

causées par les routes, défrichage, ...) et les coûts d'exploitation en transports n'augmenteraient plus avec la dispersion de l'habitat. Enfin, la commune de Bertem devrait être envisagée en dernier lieu. Malgré la très bonne accessibilité aux arrêts de bus, celle aux gares l'est moins (voir Cartes 40 et 41) et l'utilisation de la voiture dans les déplacements domicile-travail risque d'être avantagée (d'autant plus que la commune bénéficie d'une bonne accessibilité routière, grâce à la présence d'un échangeur qui est associé au passage de l'autoroute E40).

Lorsque l'analyse est faite au niveau des trois communes wallonnes (Wavre, Ottignies-Louvain-la-Neuve, et Chaumont-Gistoux ; voir Figures 31, 32 et 33), on remarque à nouveau qu'une **différenciation de la desserte existe entre les communes urbaines et rurales**. En effet, à Wavre et à Ottignies-Louvain-la-Neuve (communes urbaines), la concentration de l'habitat permet d'offrir une meilleure accessibilité à un plus grand nombre de personnes (et d'emplois) ; dans les deux cas, environ 64 % d'habitants disposent d'un arrêt de bus à moins de 500 m. A Chaumont-Gistoux, l'habitat est moins dense (par secteur statistique) et très dispersé, ce qui explique les valeurs de pourcentages cumulés moins élevées par rapport aux deux communes voisines (5 à 10 % de différence).

Une autre constatation tirée de l'analyse des graphiques est que, dans le cas de la commune d'Ottignies-Louvain-la-Neuve, le pourcentage d'emplois situés à moins de 500 m d'un arrêt de bus est relativement faible, comparé à la ville de Wavre. Le fait que les parcs scientifiques de la ville soient situés un peu en périphérie de celle-ci et que le nombre d'arrêts ne soit pas très élevé dans ces parties de la commune explique probablement ces résultats.

Lorsqu'on compare les communes des deux régions, on remarquera aussi que les valeurs des pourcentages cumulés sont généralement plus faibles pour les communes wallonnes que pour les communes flamandes. A titre d'exemple, pour des distances inférieures à 250 m des arrêts de bus, la ville de Wavre compte des pourcentages de 32 et 44 % (pour les habitants et les emplois, respectivement), alors que la commune rurale de Bertem compte des pourcentages de 39 et 49 % (idem). Le nombre d'arrêts n'est pas une variable explicative de cette différence puisque la commune de Bertem compte deux fois moins d'arrêts que celle de Wavre. La différence est attribuée à la localisation des arrêts, qui est plus proche de l'habitat dans les communes flamandes. Préconisée par le décret « Basismobiliteit », la proximité entre l'habitat et les arrêts de transport en commun est donc la principale variable explicative de cette différence de pourcentage. La comparaison des communes flamandes et wallonnes nous amène donc à confronter **deux politiques de mobilité très différentes**.

Enfin, dans le cas de la Région bruxelloise (voir Figure 34), les fortes densités de population et d'emplois, la politique de mobilité et le grand nombre d'arrêts de transports en commun (bus, tram, métro) donnent des valeurs élevées de pourcentage pour des distances inférieures à 250 et 500 m⁸⁶. En effet, plus de 63 % d'habitants (et 69 % d'emplois) disposent d'un arrêt à moins de 250 m ; pour des distances inférieures à 500 m, ce pourcentage grimpe même à 96 % (à la fois pour les habitants et les emplois). Comparativement aux deux autres régions, **la forte concentration de population et d'emplois ainsi que le grand nombre d'arrêts permettent d'assurer une meilleure proximité de l'emploi et des habitants par rapport aux transports en commun. Cette accessibilité élevée aux arrêts permet d'ailleurs d'augmenter la part modale des transports publics bruxellois**.

⁸⁶ Notons toutefois que plus de 167.000 emplois bruxellois ne sont pas localisés par la base de données de l'INS. Le biais sur le calcul des pourcentages cumulés d'emplois est donc très important.

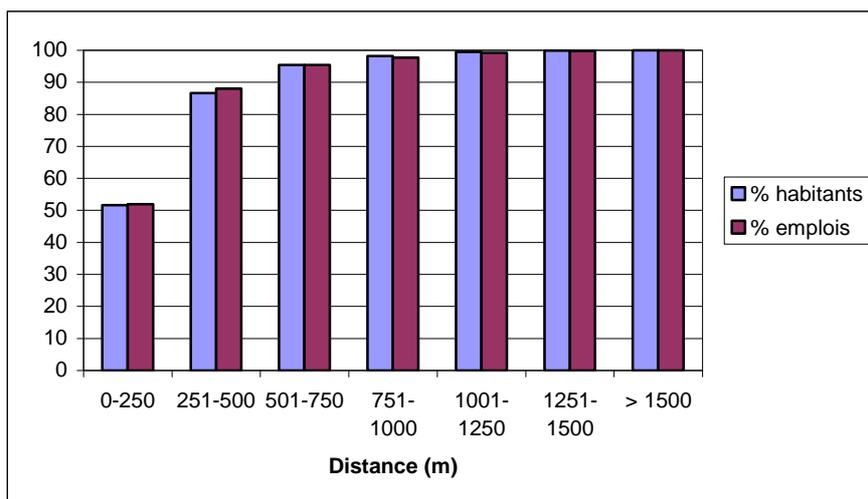


Figure 28 : Commune de Leuven – Pourcentages cumulés d’habitants et d’emplois par intervalle de distance (m)

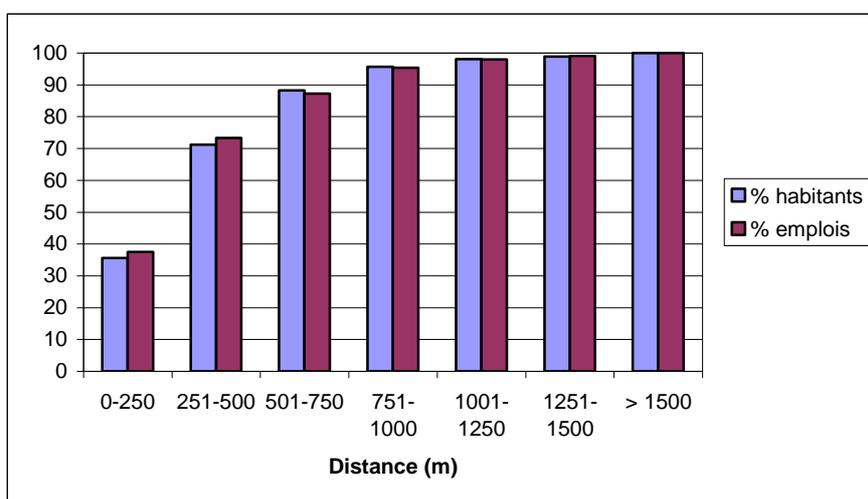


Figure 29 : Commune de Herent – Pourcentages cumulés d’habitants et d’emplois par intervalle de distance (m)

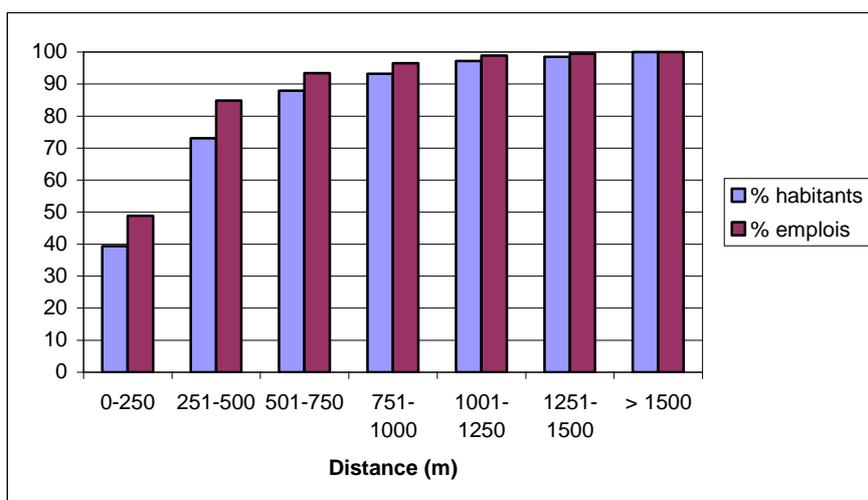


Figure 30 : Commune de Bertem – Pourcentages cumulés d’habitants et d’emplois par intervalle de distance (m)

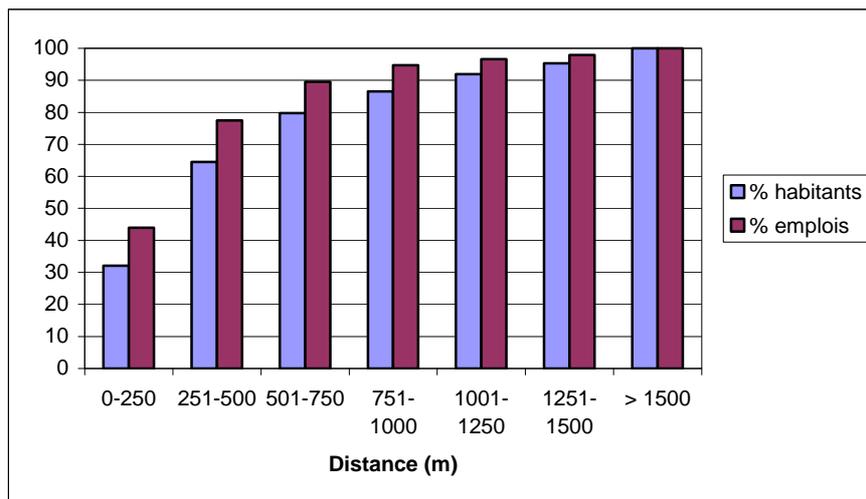


Figure 31 : Commune de Wavre – Pourcentages cumulés d’habitants et d’emplois par intervalle de distance (m)

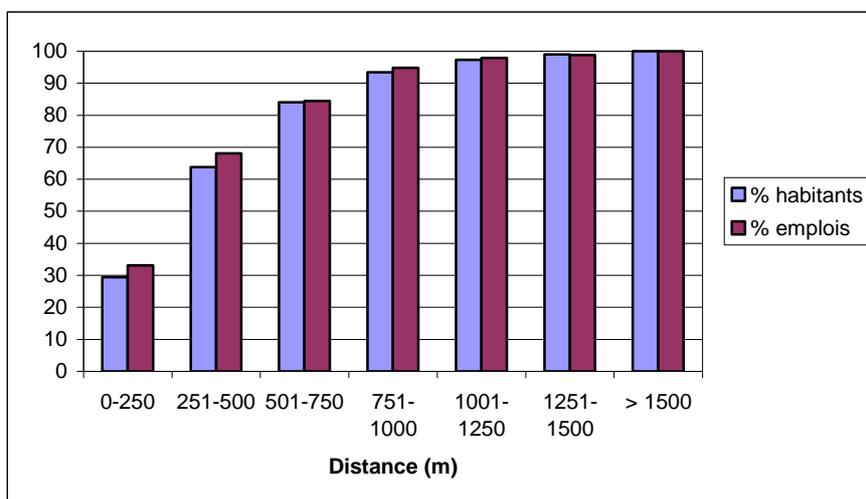


Figure 32 : Commune d’Ottignies-Louvain-la-Neuve – Pourcentages cumulés d’habitants et d’emplois par intervalle de distance (m)

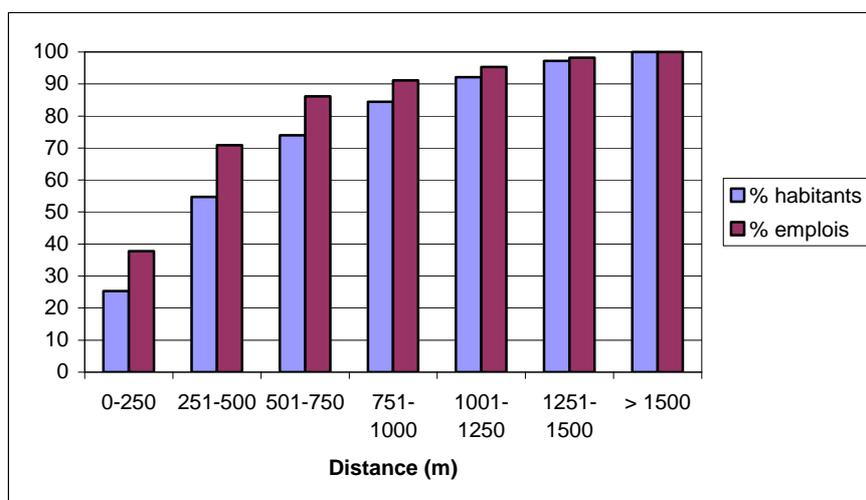


Figure 33 : Commune de Chaumont-Gistoux – Pourcentages cumulés d’habitants et d’emplois par intervalle de distance (m)

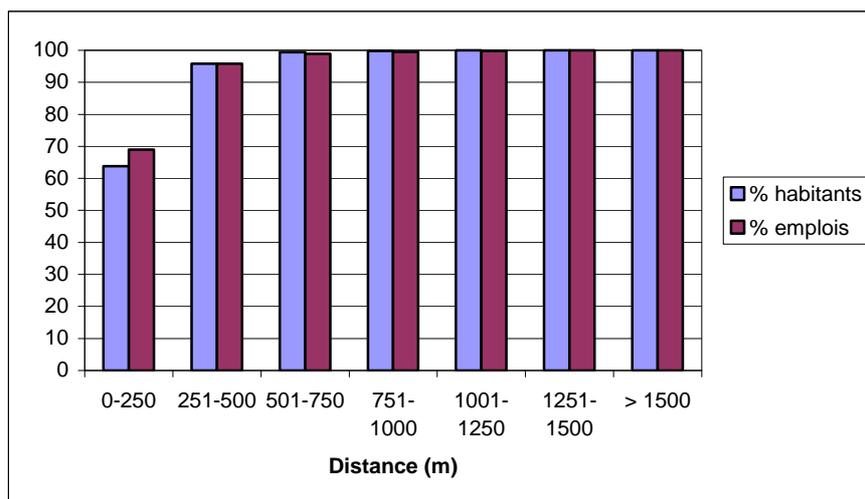


Figure 34 : Région de Bruxelles-Capitale – Pourcentages cumulés d’habitants et d’emplois par intervalle de distance (m)

8.3. Critique des résultats

Les **aspects positifs** associés à l’analyse de l’accessibilité aux arrêts de transport en commun sont les suivants :

- i. La méthode utilisant des buffers et des isodistances dans les SIG permet de produire d’intéressants **calculs complémentaires** (aisément interprétables). Comme nous avons pu le remarquer dans la section sur les résultats, ils permettent de quantifier le nombre d’habitants et d’emplois situés dans certains intervalles de distances par rapport aux arrêts (et donc l’accessibilité de la population et des activités par rapport aux transports en commun). Une analyse comparative entre communes et régions a également pu être réalisée à l’aide des graphiques, montrant ainsi l’importance de la localisation des arrêts et de la concentration des activités humaines. La différence entre les politiques de mobilité wallonne et flamande a pu être mise en évidence.
- ii. La méthode a l’avantage d’être **applicable à d’autres modes de transport et à d’autres échelles spatiales**. En outre, d’autres unités que les distances peuvent être utilisées (unités de temps, unités monétaires, ...).
- iii. Comme nous l’avons déjà souligné, les **mesures** réalisées ici peuvent être très **utiles en aménagement du territoire et en politique de transport**. Dans le cadre de l’aménagement du territoire, cela montre, par exemple, l’intérêt de ne pas disperser l’habitat et de le concentrer dans des zones accessibles.
- iv. L’interprétation des graphiques est accompagnée d’une **analyse de données spatiales** (densités, localisation et nombre d’arrêts, surface des territoires, ...) et de connaissances propres à l’aire d’étude (observations de terrain).

Les **aspects négatifs** associés à l’analyse de l’accessibilité aux arrêts de transport en commun sont les suivants :

- i. Malgré la facilité d’interprétation et de mise en œuvre de la méthode, certaines **améliorations** peuvent être apportées. A une échelle très locale (par exemple, à l’échelle de la commune), il serait, par exemple, intéressant d’appliquer une **mesure d’accessibilité potentielle** aux arrêts de transport en commun (exprimée en termes

de population ou d'emplois), se basant sur la probabilité de déplacements (à pied, en vélo, ...) en fonction de la distance ou du temps à l'arrêt le plus proche. Si l'analyse est faite dans le cadre de l'accessibilité des personnes à mobilité réduite (PMR), il serait aussi utile d'intégrer une pondération (binaire, ...) afin de définir au préalable quels sont les arrêts qui sont accessibles aux PMR et quels sont ceux qui ne le sont pas. La **fréquence des arrêts** devrait également entrer en ligne de compte, par exemple en utilisant une mesure de temps généralisé. Les possibilités sont donc nombreuses, mais elles varieront en fonction de l'objectif et du niveau de précision voulu. Par exemple, pour obtenir des mesures très précises d'accessibilité, le chercheur devra acquérir un grand nombre de données et effectuer des traitements très lourds. Si le temps de recherche est relativement court, il faudra, d'une part, limiter le nombre de modes de transport sur lesquels on veut faire l'analyse, et d'autre part, restreindre l'aire d'étude.

- ii. La méthode utilisée ici se limite aux seuls **arrêts de transport en commun** (bus, tram, métro); selon l'objectif recherché, il serait également envisageable de travailler sur d'autres modes de transport et à d'autres échelles.

9. Accessibilité multimodale à la Gare Centrale (transports publics)

9.1. Données utilisées

Les différentes données **utilisées** dans cette analyse sont les suivantes :

- Horaires de la STIB, SNCB, TEC, et De Lijn (deuxième semestre 2006). Sources : Site Internet de TEC et De Lijn (calculateurs d'itinéraire, tous modes de transport confondus).
- Supports cartographiques des différentes limites administratives du territoire belge (arrondissements, communes, anciennes communes, secteurs statistiques). Source : IGN.

9.2. Méthodologie et différentes étapes du travail

Avant d'aborder la méthodologie, il convient à nouveau de donner les informations suivantes:

- **Aire d'étude** : Provinces du Brabant Wallon et du Brabant Flamand, et Région de Bruxelles-Capitale.
- **Echelle d'analyse** : INS 6 (anciennes communes, datant d'avant la fusion de 1977)
- **Logiciel informatique** utilisé : ArcGIS 9.1 (extension : Network Analyst)

9.2.1. Méthodologie

Dans le cadre de cette analyse, l'**objectif** est de construire une mesure d'accessibilité multimodale d'un lieu i vers une seule destination j , en utilisant cette fois les transports en commun (train, métro, tram, ou bus). L'indicateur utilisé ici correspond au minimum de temps de parcours (entre i et j), effectué au moyen des transports publics, tous modes confondus (train, tram, bus, métro). On suppose donc que **la combinaison de ces modes est organisée de telle sorte que le temps de parcours est minimisé** entre l'origine i et la destination j .

Comme destination, nous avons décidé de choisir la **Gare Centrale** (à Bruxelles). Ce choix se justifie par le fait qu'un grand nombre de déplacements effectués en transports en commun se font vers celle-ci. Située au cœur de la capitale, il s'agit de la gare la plus importante en termes de voyageurs. Pendant la semaine, environ 65.724 voyageurs y montent par jour (sources : Infrabel, Comptages d'octobre 2004). Notons que nous n'avons choisi qu'**une seule destination** afin de ne pas obtenir une matrice trop lourde à construire. En outre, établir que chaque origine est également une destination (dans le cas de l'indice de Shimmel, par exemple) risque de ne pas être très représentatif de la réalité. En effet, il n'est pas très courant que des personnes habitant Bruxelles aillent travailler dans d'aussi petites communes que Ramillies ou Tielt-Winge (par exemple).

Comme origines, nous avons tout simplement repris les **centroïdes** construits dans la section 2.1.5 (centroïdes des secteurs statistiques administratifs, par ancienne commune). Comme déjà mentionné, ils représentent la localisation de la plus forte concentration de population de l'ancienne commune considérée (c'est-à-dire là où la plupart des déplacements commencent et/ou se terminent). Il s'agit donc d'une sorte de centre de gravité de la population.

Pour calculer le temps de parcours entre un centroïde i et la Gare centrale j , nous nous sommes tout simplement servis des calculateurs d'itinéraires disponibles sur les sites Internet de TEC et De Lijn. Après vérification, il s'avère **que tous les arrêts de transport en commun sont pris en compte dans le calcul de l'itinéraire**. Pour un jour de la semaine en particulier, il est toutefois possible que l'arrêt le plus proche ne soit pas repris dans l'itinéraire ; cette constatation s'explique tout simplement par le fait que, sur base de l'organisation des horaires, certains arrêts ne sont pas desservis continuellement durant la semaine. En effet, dans les zones rurales, il existe un grand nombre de **points d'arrêts facultatifs**, qui ne sont desservis que certains jours de la semaine (en raison de la demande très variable). Dans ce cas, on parle de **gestion adaptative**.

Calibrés pour des **heures creuses** (par exemple, le temps de retard causé par la congestion n'est pas pris en compte), ces calculateurs intègrent tous les modes de transports en commun existants (TEC, De Lijn, STIB, SNCB) afin de répondre à la demande du client : minimiser le nombre de correspondances, minimiser le temps de parcours entre i et j , ou encore minimiser le temps de marche. En fonction des desiderata du client, certains modes de transport peuvent être exclus de la recherche. L'heure de départ (ou d'arrivée) peut également être respectée strictement, ou approximativement. Dans le cadre de notre recherche, nous avons considéré que :

- l'heure d'arrivée à la Gare centrale est fixée ici (à titre exemplatif) à **9h30 du matin**, et devait être respectée **strictement**⁸⁷. Nous supposons donc une situation où un travailleur, habitant en Région bruxelloise ou dans les deux Brabant, doit arriver à Bruxelles vers 9h30 du matin. Des heures d'arrivées plus matinales (par exemple, 7h30 ou 8h30) étaient plus compliquées à respecter strictement pour certaines anciennes communes.
- le **temps de parcours** entre l'ancienne commune i et la Gare centrale j doit être **minimisé**.
- **tous les modes de transport en commun** différents sont inclus dans la recherche (bus, tram, métro, train).
- l'itinéraire est effectué en **semaine**.

Dans le calculateur, les **adresses précises** des origines (centroïdes des secteurs administratifs) sont encodées. Pour ce faire, nous recherchons dans Viamichelin l'adresse du ménage qui est le plus proche du centroïde i , et nous l'encodons dans notre base de données SIG (à titre d'enregistrement). Les adresses du ménage i et de la Gare centrale sont finalement encodées dans le calculateur d'itinéraire (TEC ou De Lijn) pour calculer le temps de parcours minimum entre les deux lieux. Dans la plupart des cas, un temps de marche entre le centroïde i et l'arrêt de transport en commun le plus proche est calculé et intégré dans le temps de parcours total. En fonction des horaires, du nombre d'arrêts dans l'ancienne commune, et de la localisation des centroïdes (par rapport aux arrêts), le temps de marche peut représenter une part plus ou moins importante dans le calcul du temps de parcours total entre i et j .

L'application de ce type de méthodologie est également **envisageable pour d'autres origines et/ou destination(s)**. Par exemple, il n'est pas exclu de vouloir mesurer l'accessibilité en transports en commun vers une entreprise située à Louvain-la-Neuve, ou encore à Leuven. Dans ce cas, les origines pourraient correspondre aux communes dans lesquelles les employés

⁸⁷ Notons que, dans quelques rares cas (deux ou trois anciennes communes), nous avons dû déroger à la règle et fixer une heure d'arrivée qui est « approximative » (dans le sens des critères définis par les calculateurs d'itinéraires).

de l'entreprise habitent. On pourrait ensuite imaginer de faire une **comparaison de l'accessibilité en transports en commun avec celle en voiture**, notamment afin de rendre les transports en commun compétitifs – en termes de temps de parcours – par rapport à la voiture (par exemple, en changeant le temps de correspondance d'une ligne).

9.2.2. Analyse des résultats

L'analyse des résultats (voir Carte 61) montre que les communes bruxelloises bénéficient très logiquement d'un temps de parcours très court pour accéder à la Gare centrale (moins de 30 minutes, en général). Seules les parties nord et sud de Bruxelles, ainsi que les communes de Ganshoren, Berchem-Sainte-Agathe, Watermael-Boitsfort, Auderghem et Evere sont situées à plus de 30 minutes de la Gare centrale (avec un maximum de 45 minutes). L'absence de métro (ou même le temps de marche relativement long pour rejoindre la station de métro la plus proche) expliquent la moins bonne accessibilité de ces communes.

En dehors de la Région bruxelloise, certaines communes situées en Brabant flamand et en Brabant Wallon bénéficient d'une desserte ferroviaire (SNCB) leur permettant d'avoir accès à la Gare centrale en moins de 30 minutes. En effet, dans le nord du Brabant Flamand, les communes de Vilvoorde et de Machelen, ainsi qu'une partie de la commune de Zaventem peuvent accéder à la Gare centrale en moins de 30 minutes. Il en est de même pour certaines parties des communes de Dilbeek, Sint-Pieters-Leeuw et Halle. Dans le Brabant Wallon, la commune de Braine-l'Alleud a également accès à la Gare centrale en moins de 30 minutes, grâce à la présence d'une gare sur son territoire.

L'**influence du transport ferroviaire** s'observe également pour d'autres communes flamandes et wallonnes, situées cette fois à plus de 45 minutes de la Gare centrale. Identifiables par un niveau d'accessibilité très différent de leur environnement direct, ces communes sont traversées par une ligne de chemin de fer et tirent profit de la présence d'une gare sur leur territoire pour accéder rapidement à la Gare centrale. Il s'agit, par exemple, d'anciennes communes situées sur les territoires d'Ottignies-Louvain-la-Neuve, Tubize, Rixensart, Liedekerke, Haacht, Leuven ou encore Opwijk. Au-delà de 45 minutes de temps de trajet, on remarquera encore l'influence du transport ferroviaire au bénéfice de la ville de Tienen (qui se distingue par un temps de trajet 15 à 30 minutes inférieur à celui des communes voisines pour rejoindre la Gare centrale).

En outre, on remarquera aussi l'**influence des nationales et autres voies express** sur le temps de trajet vers la Gare centrale. C'est par exemple le cas pour la N29 (Chaussée de Charleroi), la N243 (Chaussée de Huy), et la N240 (Chaussée de Wavre). Ces axes autorisent des vitesses élevées, diminuant ainsi le temps de transport en bus. Sans eux, il est fort probable que le temps de trajet à la Gare centrale soit porté à 1h30 pour certaines communes de l'est du Brabant Wallon.

Les anciennes communes les plus périphériques sont, quant à elles, principalement localisées dans la partie Est des deux provinces du Brabant. Par simple comparaison, on constatera que l'est du Brabant Wallon est nettement moins accessible que l'est du Brabant Flamand. Les deux **causes** probables de ce constat sont : (1) des densités plus élevées dans l'est du Brabant Flamand, justifiant ainsi une meilleure desserte, et (2) des politiques de mobilité différentes entre les deux provinces.

Tout d'abord, dans le **Brabant Flamand**, on observe que les parties les moins accessibles sont situées dans les communes de Scherpenheuvel-Zichem (partie sud, surtout), Bekkevoort, Geetbets, Zoutleeuw, et Bierbeek (ancienne commune de Opvelp) ; en général, le temps de trajet en transports en commun prend plus de 1h15 (voire même 1h30) lorsqu'on part de ces communes vers la Gare Centrale. Dans certains cas (les communes les plus orientales), il est logique que le temps de parcours soit très élevé, mais dans d'autres (comme Opvelp), le temps de parcours est anormalement élevé en comparaison avec la distance à la Gare centrale. Cette dernière constatation s'explique par l'environnement rural de la commune, ainsi que par des densités de population relativement faibles. D'autres communes peu accessibles (c'est-à-dire pour lesquelles une ou plusieurs anciennes communes sont situées entre 1h16 et 1h30 de la gare Centrale) sont les suivantes : Galmaarden, Londerzeel (partie nord-ouest), Begijnendijk, Tremelo, Aarschot (partie nord-est), Holsbeek, Diest (partie sud-ouest), Kortenen, Glabbeek, Tielt-Winge, Linter, Landen, Hoegaarden (partie ouest), et Boutersem (sud).

Dans le **Brabant Wallon**, les anciennes communes pour lesquelles le temps de trajet excède 1h15 en transports en commun occupent une surface bien plus élevée et sont bien plus proches de la Gare centrale qu'en Brabant Flamand. Situées majoritairement dans la partie orientale du Brabant Wallon, ces anciennes communes font aujourd'hui partie des communes de Orp-Jauche, Ramillies, Jodoigne, Hélécinne, Incourt, Perwez, Walhain, Mont-Saint-Guibert, Beauvechain, Chaumont-Gistoux, et Grez-Doiceau. En dehors de l'est du Brabant Wallon, on notera encore qu'il y a d'autres entités situées à plus de 1h15 de la Gare centrale, notamment dans les communes de Nivelles, Genappes, Villers-la-Ville et Chastre. Encore une fois, il s'agit de petits villages ruraux, pour lesquels la densité de population est faible (exemple de Bornival, petit hameau situé dans la commune de Nivelles).

Caractérisées par un environnement rural ainsi que par de faibles densités de population, la plupart des communes dites périphériques ne bénéficient que d'une simple desserte en bus (TEC), qui n'est pas toujours très développée en raison de la faible demande. Si les habitants sont venus s'implanter dans ces communes, c'est principalement pour échapper au cadre de vie urbain (bruit, pollution atmosphérique et visuelle, ...) et pour profiter de l'environnement des communes (semi-)rurales. Pour beaucoup, une bonne desserte en bus ou en train n'est pas un facteur de localisation puisqu'ils disposent d'une voiture pour se déplacer. **La dépendance par rapport à la voiture est donc très forte dans ces communes**, et ce même si des lignes de bus offrent plus ou moins efficacement leurs services de transport. Mais, en termes de mobilité, les conséquences de ce phénomène de périurbanisation sont graves puisque, année après année, la congestion augmente sur les grands axes (par exemple, la E411) pendant les heures de pointe⁸⁸. **Et pourtant, l'évolution de la population dans l'est du Brabant Wallon est l'une des plus fortes en Belgique** ; par exemple, la population d'Incourt a crû de 39 % entre 1989 et 2006. Dans les autres communes de l'est de la province, la croissance relative est également très importante, avec des évolutions de l'ordre de 20 à 30 % (sources : INS).

Face à cette situation, le problème n'est peut-être pas de devoir continuellement adapter l'offre en transports dans ces communes, mais plutôt d'**imposer au système d'activités** (implantation des nouveaux lotissements) **de s'adapter au système de transport existant**, de la manière la plus adéquate possible. A l'inverse, si le système de transport s'adapte au système d'activité, les coûts d'exploitation risquent de croître continuellement, de même que

⁸⁸ D'autres inconvénients peuvent encore être cités, notamment l'augmentation de la mobilité et des distances parcourues, l'augmentation de la consommation de carburant (ce qui entraîne une augmentation de la pollution), la diminution des espaces agricoles et des zones naturelles, la formation de barrières (routes, habitations, etc.), l'augmentation des frais de voirie, ...

la mobilité et les coûts environnementaux (pollution visuelle, barrières, nuisances sonores, destruction des habitats, ...). Une **collaboration étroite entre les politiques de transport et d'aménagement du territoire** pourrait donc aider à accomplir certains objectifs dans les domaines de la mobilité et de l'environnement. Sur base d'indicateurs d'accessibilité tels que celui que nous avons établi ici, l'identification des communes les moins accessibles peut être d'une grande utilité pour ces deux politiques. En effet, pour une destination précise (par exemple, la Gare centrale ou une entreprise en particulier), il est important d'étudier l'accessibilité en transports en commun et en voiture en partant de certaines origines ; il est évident que, pour certaines anciennes communes situées à plus de 1h30 de leur destination en transports en commun, le choix modal sera préférentiellement orienté vers la voiture. Le temps de marche, le nombre de correspondances, l'insécurité, ou encore l'inconfort sont autant de facteurs qui prennent une importance croissante avec le temps de parcours entre i et j ; **la probabilité de prendre les transports en commun est donc d'autant plus réduite que ce temps de parcours augmente.**

9.3. Critique des résultats

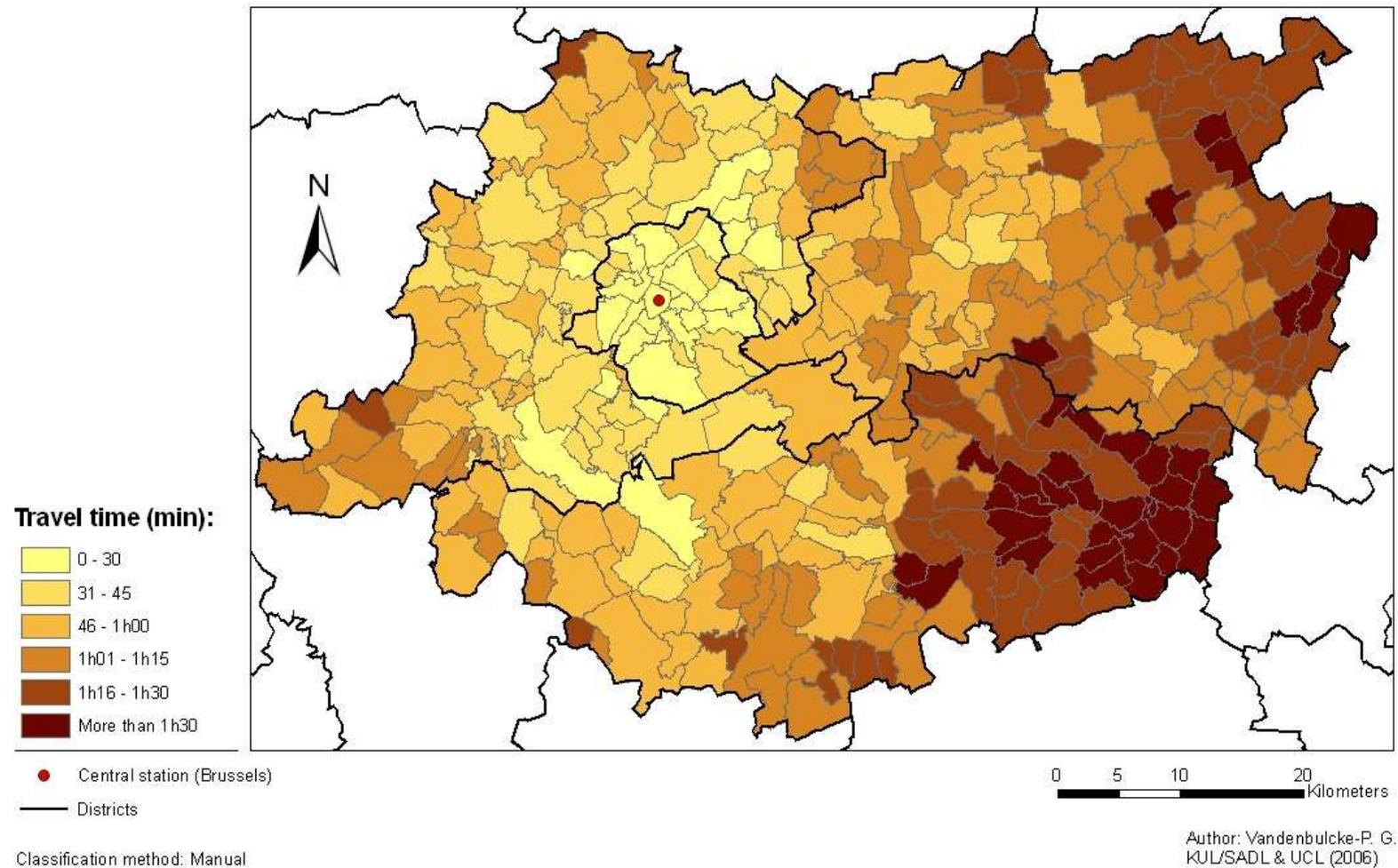
Les **aspects positifs** associés à l'analyse de l'accessibilité en transports en commun vers la Gare centrale sont les suivants :

- i. Les résultats obtenus ci-dessus peuvent encore être utilisés pour être **comparés avec l'accessibilité en voiture vers la Gare centrale**. En comparant le temps mis en transports en commun et celui mis en voiture, il devient possible d'obtenir une mesure de l'**efficacité** des transports en commun face à la voiture. Ainsi, les communes pour lesquelles les transports en commun mettent beaucoup plus de temps (par rapport à la voiture) peuvent être identifiées par une simple cartographie des résultats. Les décideurs sauraient alors quelles zones (ou quelles lignes de bus, par exemple) améliorer pour rendre les transports en commun plus compétitifs face à la voiture (en termes de temps de parcours).
- ii. Comme nous l'avons déjà signalé dans la section 2.2., les résultats peuvent être très **utiles pour mettre en évidence (et prévoir) certaines situations qui, sans interventions au niveau politique, risqueraient encore de se dégrader dans un futur proche** (voir l'exemple des communes de l'est du Brabant Wallon). Dans le cadre de cette analyse, on a d'ailleurs pu observer une **forte structuration spatiale**.
- iii. Malgré un temps de préparation relativement long (identification des adresses, et encodage des temps de parcours), la **mesure** utilisée ici est **relativement simple à appliquer** et est **très représentative du niveau de desserte**. De plus, l'acquisition des **données** ne pose aucun problème puisque nous utilisons les calculateurs d'itinéraires des différentes sociétés de transport en commun (disponibles en ligne).
- iv. **La méthode utilisée ci-dessus pourrait être appliquée pour d'autres destinations** que la Gare centrale. Par exemple, parmi un ensemble de sites choisis pour localiser une usine ou une entreprise (et en supposant que les sites présentent tous des caractéristiques semblables), il serait intéressant d'évaluer le temps mis en transports en commun jusque celle-ci (en partant d'un grand nombre d'origines, situées dans un rayon déterminé autour de l'entreprise) et de le comparer avec celui mis en voiture. Les sites pour lesquels les transports en commun sont les plus compétitifs face à la voiture seraient alors sélectionnés pour l'implantation d'une entreprise.
- v. **Conjointement à d'autres données** (par exemple, l'évolution de la population, entre 1989 et 2006), l'analyse des résultats peut fournir des informations très utiles pour les décideurs.

Les **aspects négatifs** associés à l'analyse de l'accessibilité en transports en commun vers la Gare centrale sont les suivants :

- i. Partant du principe que les horaires sont respectés, les **calculateurs d'itinéraire** fournis par TEC et De Lijn **ne tiennent pas compte du retard occasionné par des facteurs externes** (par exemple, congestion, chantiers, manifestations sportives, ...). Pendant les heures de pointe, la comparaison entre le temps mis en transports en commun et celui mis en voiture ne peut donc pas être faite. Pour permettre une telle comparaison, il faudrait disposer de **données supplémentaires** (par exemple, temps de parcours réellement effectué entre les arrêts, pour différentes périodes de la journée).
- ii. Sachant que les lignes de bus disposent parfois de points d'arrêts facultatifs (surtout dans les zones rurales), il faudrait idéalement **effectuer la mesure pour plusieurs jours de la semaine** (afin d'observer les variations d'accessibilité entre les différents jours de la semaine). Pour répondre à d'autres objectifs, la mesure pourrait également être faite pour le week-end, pour d'autres heures d'arrivée que celle que nous avons fixé (9h30), ... Mais, à nouveau, tout cela sort du cadre de cette étude.

Travel time to Central station (Brussels) using public transports (TEC, SNCB / NMBS, De Lijn, STIB / MIVB)



Carte 61 : Temps de trajet à la Gare centrale (Bruxelles) en utilisant les transports publics, tous modes confondus

10. Essai de synthèse statistique basée sur plusieurs variables d'accessibilité

10.1. Données utilisées

Les différentes données **utilisées** dans cette analyse sont les suivantes :

- Résultats sur : (1) l'accessibilité aux **villes belges** (point 2), (2) l'accessibilité aux **gares** (temps généralisé) (point 5), et (3) l'accessibilité aux **aéroports** (point 4).
- Supports cartographiques des différentes limites administratives du territoire belge (arrondissements, communes, anciennes communes). Source : IGN.

10.2. Méthodologie et différentes étapes du travail

Avant d'aborder la méthodologie, il convient à nouveau de donner les informations suivantes:

- **Aire d'étude** : Belgique
- **Echelle d'analyse** : INS 6 (anciennes communes, datant d'avant la fusion de 1977)
- La situation en **heures creuses** (21h00-5h00) et celle en **heures de pointe** (7h00 à 10h00 et 15h00-20h00) sont toutes deux envisagées dans cette partie du travail.
- **Logiciel informatique** utilisé : ArcGIS 9.1 (extension : Network Analyst) et SAS Enterprise Guide 3.0.

Notons au préalable que cet essai de synthèse statistique fait déjà l'objet d'un article scientifique et sera présenté lors des conférences NECTAR (9 au 12 mai 2007) et BIVEC-GIBET (3 avril 2007). L'article est toujours en cours de rédaction mais, une fois publié, nous invitons les lecteurs à s'y référer pour obtenir plus de détails sur les résultats.

10.2.1. Méthodologie

Dans le cadre de cette analyse, l'**objectif** est d'établir une vue synthétique de l'accessibilité en Belgique (toujours pour le transport de passagers). En d'autres termes, nous voulons créer des groupes d'anciennes communes (INS 6) qui soient aussi homogènes que possible et aussi dissemblables que possible au niveau de l'accessibilité. Pour arriver à un tel résultat, **plusieurs indicateurs d'accessibilité sont utilisés et regroupés dans une même analyse de classification** (« cluster analysis »), qui aura pour but de regrouper les zones géographiques de même accessibilité entre elles. Les indicateurs en question sont ceux que nous avons déjà construits dans les chapitres précédents. Il n'était cependant pas possible de reprendre tous les indicateurs puisque l'aire d'étude, les origines et les destinations varient d'une méthode à l'autre. Pour des raisons de cohérence, les **indicateurs** qui entrent en ligne de compte sont donc les suivants : (1) la mesure du temps de trajet à la ville la plus proche (H_1 , H_2 , H_3), (2) la mesure du temps de trajet à l'aéroport le plus proche, et (3) la mesure du temps généralisé aux gares (ou, plus correctement, au premier train). En observant la liste des indicateurs, on constate qu'ils sont tous appliqués pour des mesures qui se font le long du réseau routier. On voit aussi que les origines considérées sont les anciennes communes belges, et les destinations correspondent aux principales villes du pays (H_1 , H_2 , H_3), aux aéroports et aux gares. Les

matrices OD associées à chacun de ces indicateurs sont alors regroupées dans une même analyse de classification, afin de discerner des groupes d'anciennes communes dont l'accessibilité est semblable. Puisque les indicateurs ont déjà été calculés pour les heures creuses et les heures de pointe, plusieurs analyses de classification sont faites selon la période de la journée considérée.

Nous avons procédé à plusieurs **essais de classification** en utilisant différentes méthodes (méthode de la moyenne, méthode du diamètre, méthode du centroïde, méthode de Ward, etc.) et en se basant sur des critères statistiques pour déterminer le nombre de classes (CCC, pseudo t^2 , et pseudo F)⁸⁹. A la suite de cela, il s'est avéré que la méthode la plus pertinente pour analyser notre jeu de données était la méthode hiérarchique ascendante de **Ward**. En effet, les autres méthodes produisaient des groupes très déséquilibrés quant au nombre de communes⁹⁰.

10.2.2. Analyse des résultats

La **première analyse** de classification utilise les trois indicateurs d'accessibilité⁹¹, calculés pour des **heures creuses**. Sur base des critères statistiques précités, quatre groupes ont été choisis pour produire une image synthétique de l'accessibilité en Belgique. En analysant la cartographie des résultats (voir Carte 62), on remarque que **les zones les plus accessibles** (en bleu) **correspondent aux principales régions urbaines** de Belgique (notamment Bruxelles, Charleroi, Liège, Antwerpen, ou encore Oostende), **avec une extension dans des zones plus rurales** et ne faisant pas partie de la banlieue ou des communes-dortoirs. Sur le graphique, on lit aussi que les moyennes du premier groupe d'accessibilité sont de 20 minutes pour accéder à l'aéroport le plus proche, et de 10-11 minutes pour accéder aux gares et aux villes les plus proches. Le deuxième groupe d'accessibilité (en jaune) est, quant à lui, caractérisé par un temps de parcours de 35 minutes pour rejoindre l'aéroport le plus proche ; il faut également 14 minutes pour rejoindre la gare la plus proche, et environ 12 minutes pour se rendre à la ville la plus proche. Ce groupe d'accessibilité est difficile à synthétiser puisqu'il rassemble une diversité très large de communes ; il mêle, en effet, communes urbaines et communes rurales. Le troisième cluster (en orange) est plus périphérique que les deux groupes précédents et est caractérisé par des moyennes très différentes : il faut environ 18 minutes pour rejoindre une gare ou une ville, alors que l'aéroport le plus proche se situe – en moyenne – à un peu plus de 50 minutes de temps de trajet. Ce cluster correspond généralement à des communes pour lesquelles l'accessibilité est faible par rapport aux villes, aux aéroports et aux gares (sud du sillon Sambre-Meuse, Fagne, ou encore Campine limbourgeoise). Enfin, le cluster 4 (en brun) regroupe les communes les plus périphériques, situées dans le sud du pays (partie sud de la communauté Germanophone, Ardenne, et Lorraine). Les moyennes sont de l'ordre de 84 minutes pour l'accessibilité aux aéroports, 26 minutes pour l'accessibilité aux villes, et 21 minutes pour l'accessibilité aux gares.

⁸⁹ Le choix du nombre de classes se base sur un consensus entre les trois critères statistiques : observer des pics locaux de pseudo F et CCC (Cubic Clustering Criterion), combinés avec une faible valeur de pseudo t^2 et suivi d'une augmentation sensible de cette statistique à l'étape suivante.

⁹⁰ On obtenait, d'une part, un groupe contenant un nombre élevé d'observations, et d'autre part, une série de petits groupes, contenant un nombre très faible d'observations.

⁹¹ Les trois indicateurs sont les suivants : (1) mesure du temps de trajet à la ville la plus proche, (2) mesure du temps de trajet à l'aéroport le plus proche, et (3) mesure du temps généralisé aux gares.

La **deuxième analyse** de classification se base aussi sur les trois indicateurs d'accessibilité précités, mais calculés pour des **heures de pointe** cette fois (voir Carte 63). L'analyse des clusters est plus ou moins semblable à celle faite ci-dessus, à quelques différences près. Même si les clusters n'ont pas des moyennes semblables d'une période à l'autre, un essai de comparaison peut quand même être fait lorsqu'on passe des heures creuses aux heures de pointe. Ainsi, on constate une forte contraction du cluster 1 (bleu) pour les régions urbaines de Bruxelles et Antwerpen. La cause de cette contraction est, tout simplement, la congestion routière qui est très présente dans ces deux régions du pays. Pour les régions de Charleroi et de Liège, la contraction du cluster 1 est moins sensible et, pour la région d'Oostende, un déplacement de la zone d'accessibilité est même constaté vers le sud-ouest (qui est probablement moins saturé que la région de Zeebrugge et Knokke). La perte d'accessibilité dans le nord du pays se traduit aussi par une reconversion des communes du cluster 2 vers le cluster 3, ou du cluster 3 vers le cluster 4 ; autrement dit, certaines communes (flamandes, surtout) sont rétrogradées dans un groupe plus périphérique, à cause de la congestion. Parallèlement, dans le sud du pays, certaines communes gagnent en accessibilité *par rapport* aux communes du nord du pays ; en quelques sortes, elles tirent donc profit de la congestion du nord du pays pour bénéficier d'une meilleure « accessibilité relative ».

Bien que les analyses précédentes de classification permettent de bien identifier les régions les plus accessibles et les régions les plus périphériques de Belgique, les informations données par les cartes précédentes manquent de précisions et devraient aboutir à des groupes de communes plus distincts les uns des autres (et donc, plus facilement identifiables). En effet, des régions comme celles de Tournai ou Oudenaarde disposent d'une très bonne accessibilité aux villes et aux gares et sont pourtant intégrées dans le cluster 3 ou 4, notamment parce que l'accessibilité aux aéroports est très mauvaise. De la même manière, la région d'Arlon est très périphérique par rapport aux aéroports belges, mais dispose en contrepartie d'une très bonne accessibilité aux villes et aux gares. Dans la construction des clusters, il semble donc que l'influence de l'indicateur d'accessibilité aux aéroports ait une influence prédominante sur les autres indicateurs. Les résultats montrés par les deux premières cartes sont, par conséquent, plus liés à l'accessibilité aux aéroports qu'à l'accessibilité aux villes et aux gares. Une solution à ce problème pourrait être d'augmenter le nombre de clusters (à 10, par exemple) pour diminuer la perte d'informations, mais la lecture de la carte deviendrait alors d'autant plus difficile.

C'est pourquoi, dans ce qui suit, nous avons décidé de ne retenir que les deux indicateurs d'accessibilité aux villes et aux gares (afin d'éliminer l'influence de l'indicateur d'accessibilité aux aéroports). La **troisième analyse** de classification limite donc la synthèse de l'accessibilité à deux des trois variables précitées. Réalisée pour des heures creuses, cette analyse donne une image plus représentative et plus précise de l'accessibilité en Belgique (voir Carte 64). En effet, on remarque que les communes urbaines font partie du groupe dont l'accessibilité aux villes et aux gares est la plus élevée (cluster 1, en bleu). D'autres communes, très proches des gares et des villes, sont également incluses dans ce cluster. Le cluster 2 (jaune) est également très accessible, mais correspond à des moyennes de temps de trajet un peu plus élevées que celles du cluster 1 ; en effet, les moyennes du cluster 2 varient entre 12 et 14 minutes de temps de trajet (selon qu'il s'agit de l'accessibilité aux villes ou aux gares), alors que celles du cluster 1 varient entre 6 et 9 minutes. Correspondant à des communes peu accessibles (par exemple, au sud du sillon Sambre-Meuse, ou encore dans le nord du Limbourg), le cluster 3 est caractérisé par des moyennes de 18 à 20 minutes de temps de trajet. Enfin, le cluster 4 est le plus périphérique et se retrouve généralement dans la partie ardennaise du pays (par exemple, Houffalize, Gouvy, Vielsalm, Bullange, Vresse-sur-Semois,

Bouillon, Florenville, Gedinne, ou encore Beauraing), mais aussi dans les Fagnes (Chimay, Momignies, Sivry-Rance, Viroinval, Doische, et Hastière) et dans la commune d'Honnelle. En Flandre, le nord de la province d'Antwerpen (Essen et Hoogstraten) et du Limbourg (Hamont-Achel, Bocholt, Bree, Kinrooi, et Maaseik) sont également très éloignées des principales gares et villes du pays.

Enfin, nous avons encore réalisé une **quatrième analyse** de classification pour les heures de pointe, portant également sur les mêmes variables que l'analyse précédente (variables d'accessibilité aux villes et aux gares). Comparativement aux heures creuses, la Carte 65 montre tout d'abord une diminution sensible de la surface occupée par le cluster 1 (bleu), traduisant ainsi une **réduction des zones de plus forte accessibilité**. Cette réduction d'accessibilité est à rapprocher avec une augmentation du temps de parcours vers les villes et les gares, causée par la congestion des routes pendant les heures de pointe. Elle est d'ailleurs d'autant plus forte que la congestion est élevée (c'est, par exemple, le cas de la région d'Antwerpen). Exceptionnellement, on remarquera aussi que la région d'Arlon n'est pas touchée par une réduction de son accessibilité aux villes ou aux gares ; la surface du cluster 1 (relative à la région d'Arlon) est, en effet, inchangée lorsqu'on passe des heures creuses aux heures de pointe. Dans un cas pareil, la congestion routière n'est pas un problème chronique et n'affecte donc pas l'accessibilité des communes voisines⁹². Parallèlement à cette diminution de surface pour le cluster 1, celle du cluster 2 (en jaune) augmente très fortement lorsqu'on passe des heures creuses aux heures de pointe ; la plupart des communes, précédemment classées dans le cluster 1, ont donc été reportées dans le cluster 2 (ce qui traduit une diminution d'accessibilité). Concernant le cluster 3 (en orange), la variation de surface n'est pas très significative. Dans certains cas, on remarquera toutefois la très forte proximité du cluster 3 avec le cluster 1 (ce qui signifie qu'il y a parfois des différences d'accessibilité très fortes entre communes voisines), mais aussi l'extension du cluster 3 au détriment du cluster 2 (ce qui se traduit par une réduction de l'accessibilité de certaines communes ; c'est par exemple le cas pour les communes de l'est du Brabant Wallon). Enfin, le cluster 4 (en brun) a suivi deux tendances très différentes, selon qu'on se trouve dans le nord ou dans le sud du pays :

- Tout d'abord, dans le sud du pays, on constatera une **contraction** du cluster 4 lorsqu'on passe des heures creuses aux heures de pointe. En période de congestion, certaines communes ardennaises deviennent, en effet, plus accessibles comparativement aux reste du pays (ce qui s'explique par le fait que la congestion routière les affecte moins).
- Ensuite, en Flandre (mais aussi dans le Hainaut, à Honnelle), on remarquera une **extension** du cluster 4, causée par la congestion des routes plus importante dans le nord du pays que dans le sud. Cette extension des zones périphériques est surtout observable dans les provinces d'Antwerpen (communes d'Antwerpen, Wuustwezel, Brecht, Rijkevorsel, et Malle) et du Limbourg (communes de Dilsen et de Meeuwen-Gruitrode), ainsi que pour quelques communes de Flandre Occidentale et Orientale (Veurne, Koksijde, Assenede, Sint-Laureins, et Zelzate).

A la suite de ce que nous venons de dire dans cette quatrième analyse (mais aussi dans les analyses précédentes), on notera que **la « périphéralité » n'est pas une caractéristique propre aux zones rurales**. En effet, des communes comme Maaseik (plus de 23.000 habitants) ou Koksijde (plus de 21.000 habitants) sont relativement périphériques par rapport aux gares et aux grandes villes. En période de pointe, le nord des communes d'Antwerpen et de Beveren perdent aussi en accessibilité, de sorte qu'ils se retrouvent même dans le groupe le

⁹² Quelques anciennes communes voisines passent même du cluster 3 au cluster 2.

plus périphérique. Alors qu'elle se situe à proximité d'une grande ville (Antwerpen), ces parties flamandes du pays doivent d'abord passer par toute une série de villages, puis rallier l'autoroute et le ring R1 avant de rejoindre le centre-ville de la commune d'Antwerpen. Sur l'ensemble de l'itinéraire, une accumulation de temps de retard (dus à la congestion routière) rend ainsi périphérique le nord des communes d'Antwerpen et de Beveren, pourtant proches de facilités et de grands terminaux de transport.

Inversement, des communes rurales peuvent disposer d'une très bonne accessibilité par rapport aux gares et aux facilités, surtout si elles se trouvent à proximité d'une grande ville (exemple du village de Rumillies, au nord de la ville de Tournai) et que la diminution d'accessibilité causée par la congestion n'est pas assez forte que pour faire régresser les communes du cluster 1 au cluster 2 (lorsqu'on passe de la carte des heures creuses à celle des heures de pointe).

10.3. Critique des résultats

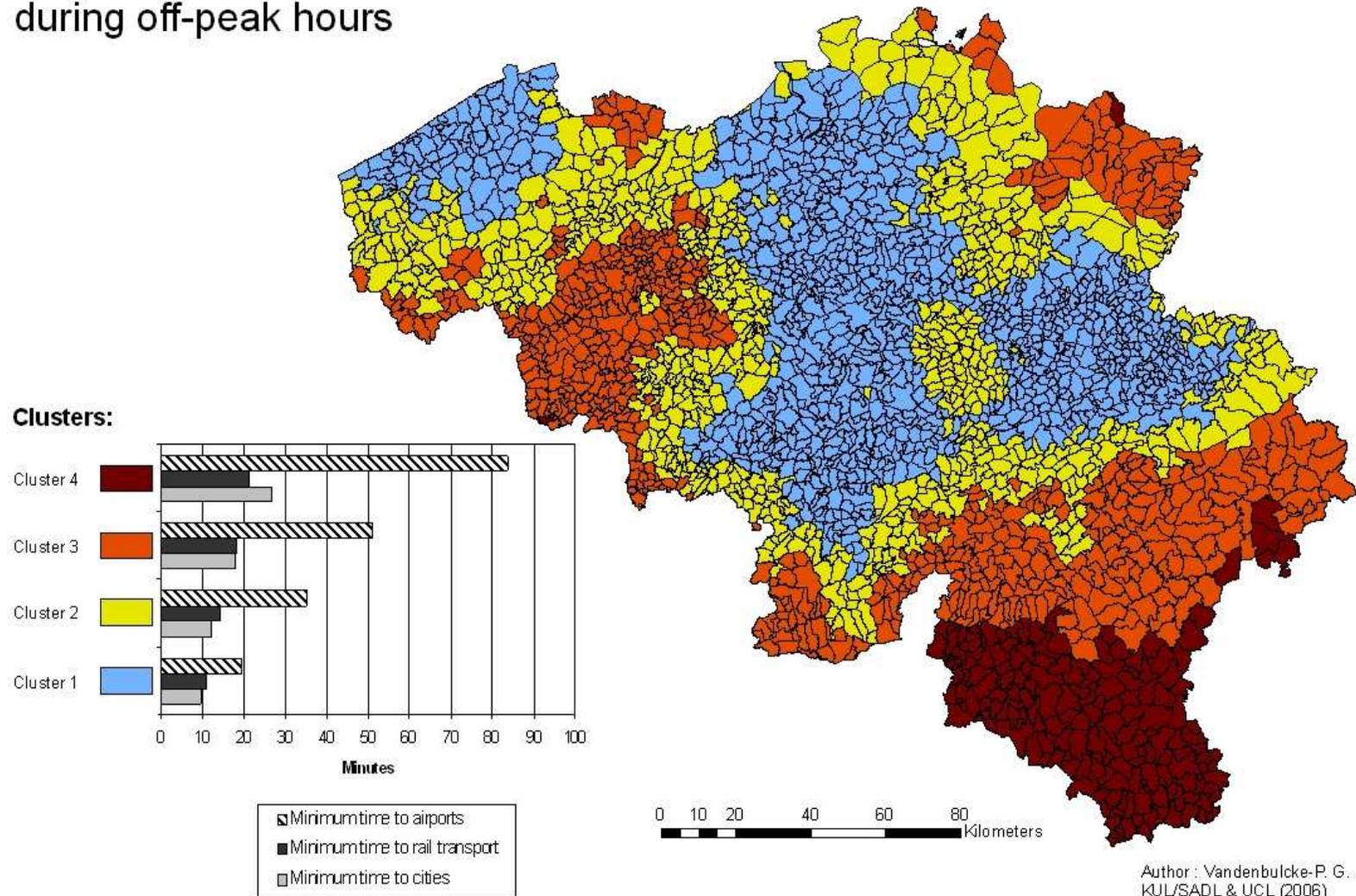
Les **aspects positifs** associés aux analyses de classification sont les suivants :

- i. L'utilisation d'analyses de classification peut être **utile pour se donner une image synthétique de l'accessibilité en Belgique**. En fonction de la base de données dont nous disposons au départ, la méthode peut intégrer l'accessibilité de plusieurs modes de transport, et ainsi identifier les zones les plus accessibles et les zones les plus périphériques de l'aire d'étude.
- ii. Dans certains cas, il est possible de comparer des analyses de classification entre elles pour refléter l'évolution d'une situation particulière ; en ce qui nous concerne, nous avons pu comparer la situation de l'accessibilité pour différents moments de la journée (heures creuses-heures de pointe), et ainsi montrer **l'effet de la congestion routière sur l'accessibilité**.

Les **aspects négatifs** associés aux analyses de classification sont les suivants :

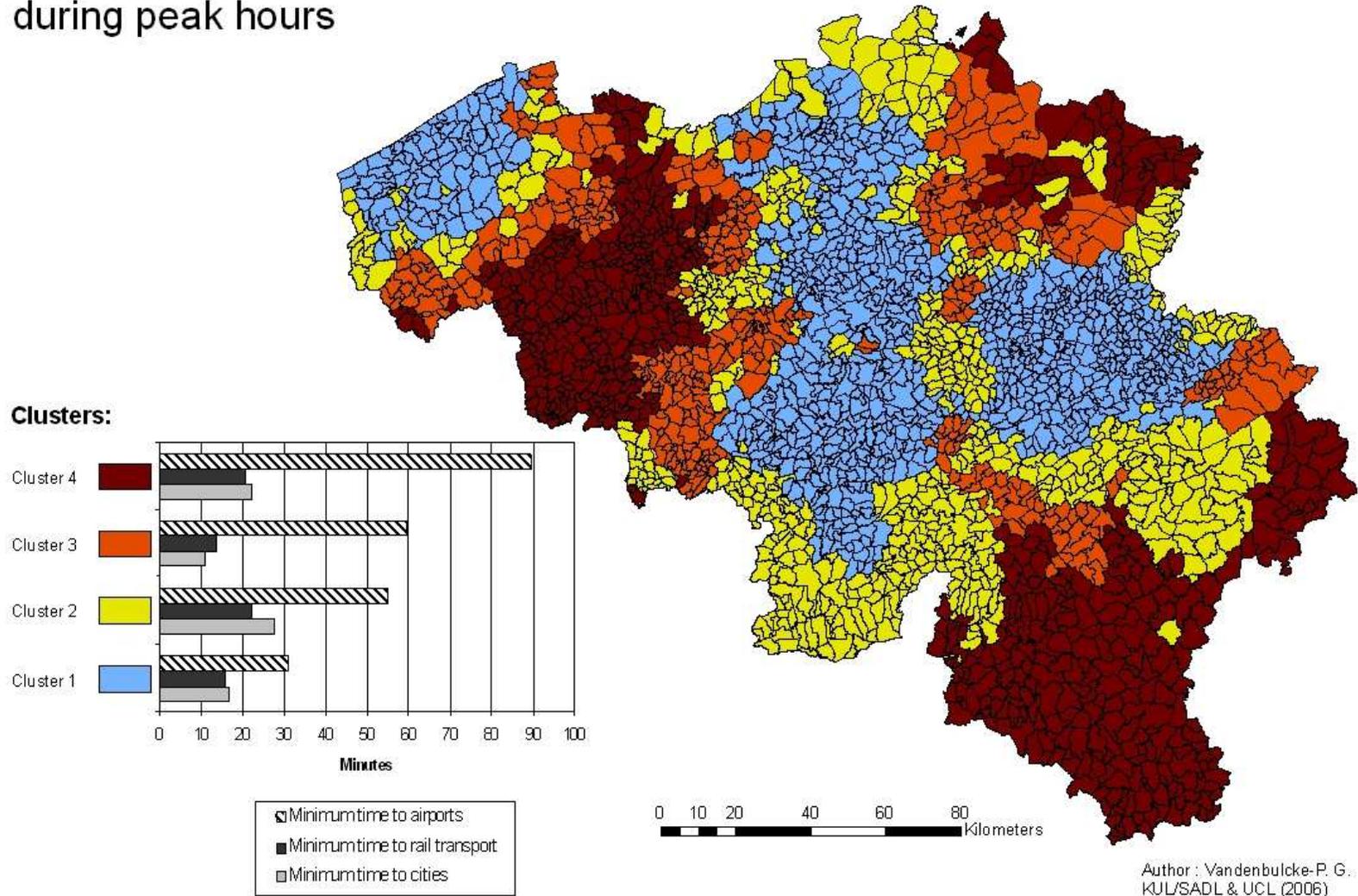
- i. Lorsqu'on souhaite synthétiser l'accessibilité de plusieurs modes de transport dans une analyse de classification, **il convient d'être attentif aux résultats obtenus** et de voir si ces derniers correspondent à ce que nous voulons montrer en termes d'accessibilité. Par exemple, en tenant compte de l'accessibilité aux aéroports dans notre jeu de données, les résultats n'identifiaient pas certaines villes comme étant très accessibles (exemple de Gent ou de Tournai), et les communes les plus proches des aéroports étaient les seules à être considérées dans le groupe le plus accessible (cluster 1). Bien qu'il soit possible d'augmenter le nombre de groupes dans l'analyse de classification (notamment pour diminuer la perte d'information quant à l'accessibilité de certaines villes), la lecture des cartes/résultats devient plus difficile, et parfois plus confuse. En outre, les zones de plus forte accessibilité sont toujours concentrées autour des aéroports. La dernière solution consistait donc à ne sélectionner que deux indicateurs d'accessibilité (aux villes et aux gares) qui, intégrés dans une analyse de classification, donnaient une bien meilleure image de l'accessibilité en Belgique. **Le choix des indicateurs a donc une influence très importante sur les résultats obtenus dans l'analyse de classification**. En fonction de l'objectif de la recherche, certains indicateurs pourraient donc être exclus du jeu de données initial.

Cluster analysis: Accessibility to Belgian cities, rail stations and airports during off-peak hours



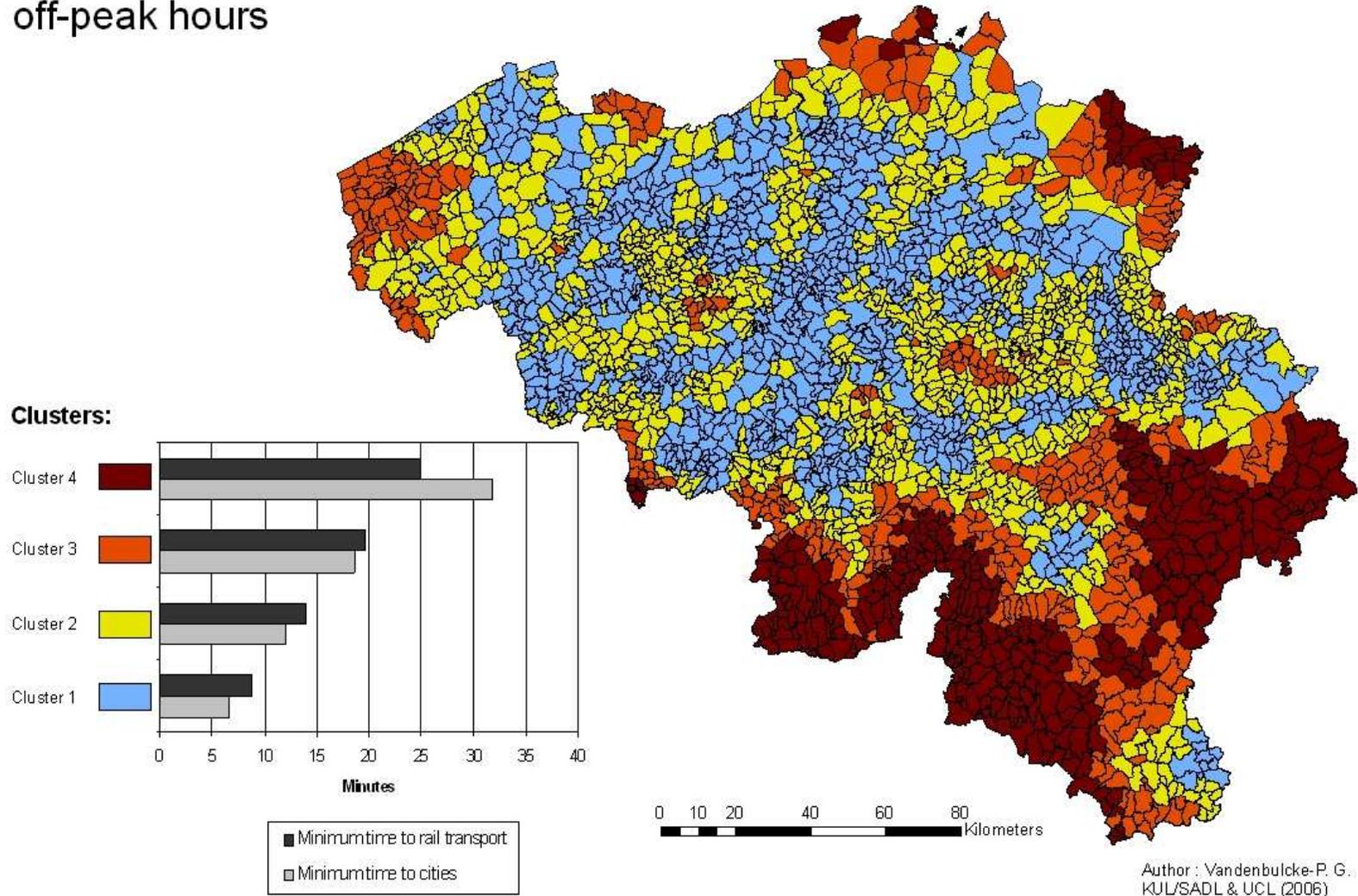
Carte 62 : Essai de synthèse statistique – Accessibilité aux villes, gares, et aéroports pendant les heures creuses

Cluster analysis: Accessibility to Belgian cities, rail stations and airports during peak hours



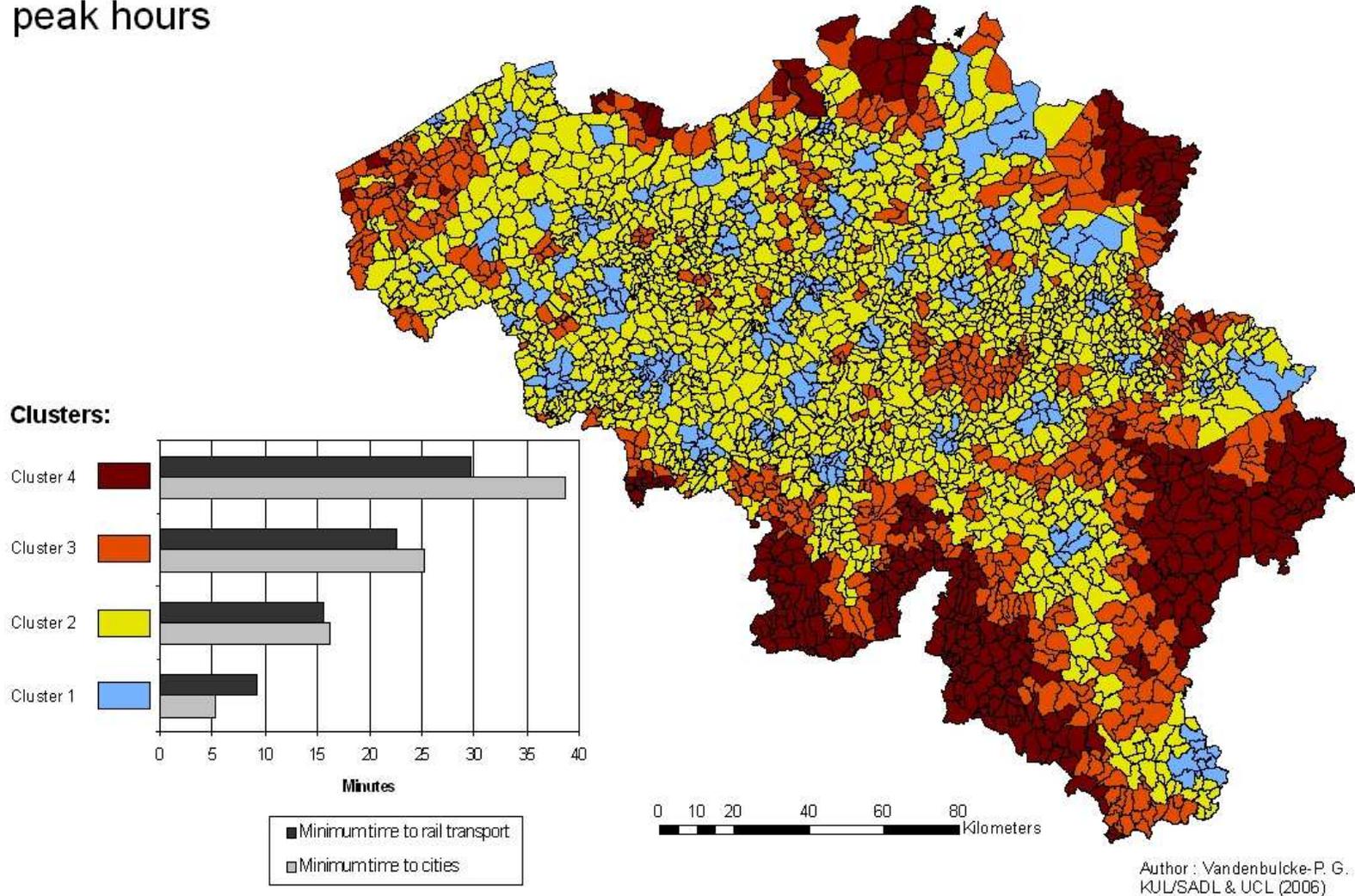
Carte 63 : Essai de synthèse statistique – Accessibilité aux villes, gares, et aéroports pendant les heures de pointe

Cluster analysis: Accessibility to Belgian cities and rail stations during off-peak hours



Carte 64 : Essai de synthèse statistique – Accessibilité aux villes et gares pendant les heures creuses

Cluster analysis: Accessibility to Belgian cities and rail stations during peak hours



Carte 65 : Essai de synthèse statistique – Accessibilité aux villes et gares pendant les heures de point

Part IV: Conclusions and recommendations

1. Transport de passagers : conclusions et recommandations de mesures d'accessibilité

Dans la revue de la littérature (voir partie I du rapport), nous avons pu constater que le concept d'accessibilité variait très fort en fonction de l'objectif de l'étude et que de très nombreuses mesures existaient pour quantifier l'accessibilité. Selon le nombre de composantes (temporelle, spatiale, ...), certaines mesures sont simples à appliquer et faciles à comprendre, tandis que d'autres sont plus complexes à mettre en œuvre, et donc plus difficiles à interpréter. De plus, toutes ces données requièrent d'importantes bases de données (géoréférencées), qui sont souvent non disponibles ou rendues indisponibles. Sur base de la faisabilité des mesures, de la disponibilité des données, et de la facilité d'interprétation, plusieurs essais de classification des mesures ont été faits, notamment par Geurs et Ritsema van Eck (2001). Ces derniers identifient les **quatre mesures** suivantes :

- i. **Infrastructure-based measures** : ces mesures d'accessibilité ont généralement pour but d'évaluer la performance du système de transport. Il s'agit, par exemple, de mesures du niveau de saturation sur les routes ou de la vitesse du trafic sur le réseau. Ces mesures sont simples à appliquer, facilement interprétables, et ne requièrent pas énormément de données. Cependant, elles n'intègrent pas assez de composantes (temporelle, spatiale, ...) et ont l'inconvénient d'être trop simplifiées méthodologiquement.
- ii. **Activity-based measures** : ces mesures analysent l'accessibilité des activités qui sont distribuées dans l'espace. Il s'agit, par exemple, de mesures potentielles (ou gravitaires), ou encore de mesures de « contour » (aires de service). Ces mesures sont aisément applicables et ne posent généralement pas de problèmes au niveau de l'interprétation des résultats. De plus, elles ne requièrent pas trop de données et sont – pour la plupart – robustes d'un point de vue méthodologique.
- iii. **Person-based measures** : ces mesures analysent l'accessibilité au niveau de l'individu, qui dispose d'un certain « budget-temps » pour accéder aux activités. Puisqu'elles se font au niveau de l'individu et qu'elles intègrent la localisation des activités, de telles mesures intègrent un grand nombre de composantes et sont donc robustes méthodologiquement. Néanmoins, elles nécessitent un grand nombre de données (revenus, âge, mode de transport utilisé, types d'activités, ...) et sont assez difficiles à mettre en œuvre. Les applications de ces mesures sont d'ailleurs assez rares et se rapportent très souvent à des échelles d'analyse très locales ou à des sous-groupes de population. En outre, les résultats ne sont pas toujours très simples à interpréter.
- iv. **Utility-based measures** : ces mesures analysent les bénéfices que les personnes retirent de l'accès à différentes activités distribuées dans l'espace. Elles sont robustes d'un point de vue méthodologique, mais elles ne sont pas faciles à mettre en œuvre et posent certains problèmes d'interprétation. De plus, elles requièrent un grand nombre de données et ne peuvent être applicables qu'à des échelles très locales.

Sur base de la revue de ces indicateurs d'accessibilité, le choix avait donc été fait de ne sélectionner que le deuxième type de mesure (« **activity-based measures** »). Le compromis entre faisabilité des mesures, disponibilité des données, et facilité d'interprétation est, en effet, le meilleur. L'objectif de ce contrat n'était pas d'appliquer toutes ces mesures à la Belgique, mais bien d'évoluer par quelques exemples ainsi que de mettre en évidence les potentialités et les difficultés liées à chacune de ces mesures.

A l'échelle de la Belgique, les mesures de type « activity-based » sont probablement celles qui sont les plus pertinentes à mettre en œuvre et qui ne nécessitent pas une collecte exhaustive des données. La plupart des résultats analysés dans la partie III du rapport (Méthodologie et Résultats) utilisent d'ailleurs ces mesures pour quantifier l'accessibilité. Notons que, **pour d'autres échelles d'analyse (plus locales)**, l'utilisation de mesures basées sur les individus (person- and utility-based measures) peut également être très utile, notamment pour étudier l'accessibilité des Personnes à Mobilité Réduite (PMR) vers certains endroits ou certaines activités (villes, gares, arrêts de bus, ...). L'étude menée par Church et Marston (2003) est, en ce sens, très intéressante (voir section 3.2.3. de la partie I du rapport). L'utilisation d'une fonction d'utilité permet aussi de mesurer les bénéfices nets que des individus dériveraient de l'accès à certaines activités. Sur base d'un échantillon de données sur les choix modaux et sur certaines caractéristiques propres aux individus (variables socio-économiques), les fonctions d'utilité permettent également de modéliser le choix modal des individus et d'identifier sur quelles variables agir pour inciter les gens à prendre d'autres modes de transport que la voiture.

Parmi les mesures de type « activity-based » qui ont été appliquées dans le cadre de ce projet, on peut identifier : (1) des simples mesures de distances et de temps de parcours vers des destinations bien précises (villes, gares, ...), (2) des mesures de « contour », (3) des mesures gravitaires, et (4) des mesures de résidus studentisés. Toutes ces mesures ont été traitées à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG) et sont accompagnées de résultats cartographiques. Pour certaines de ces mesures d'accessibilité, des matrices de distances sont fournies complémentirement au rapport, sur support DVD. Ces matrices constituent la base de toute analyse spatiale d'accessibilité.

Les **mesures de distances et de temps de parcours** sont les plus simples à interpréter et ne posent pas trop de problèmes en termes de faisabilité. Pour différentes périodes de la journée (heures creuses et heures de pointe), l'accessibilité aux villes, aux gares et aux aéroports a ainsi pu être identifiée pour des déplacements motorisés (par exemple, en voiture). Ce type de mesure pourrait d'ailleurs être appliqué pour d'autres modes de transport (par exemple, transport par bus). Les **mesures de contour** permettent, quant à elles, de quantifier la population en fonction de la distance à l'arrêt. Les résultats illustrent ainsi très clairement le taux de couverture de l'aire d'étude considérée. Ils peuvent toutefois être affinés, notamment grâce à des **mesures gravitaires** (accessibilité potentielle). Celles-ci sont un peu plus difficiles à mettre en œuvre et à interpréter, mais, comme pour les mesures précédentes, elles ne requièrent pas beaucoup de données. Utilisée pour des points d'arrêts (tram, bus, train, ...), la mesure pourrait également produire d'intéressants résultats ; pour une aire d'étude bien précise (par exemple, un quartier ou une commune), la clientèle potentielle de chaque arrêt pourrait ainsi être comparée utilement avec la population totale de l'aire d'étude. Enfin, l'utilisation d'une méthode basée sur l'analyse des **résidus studentisés** nous a permis de mettre en évidence les disparités dans les dessertes de différents terminaux de transports (gares, stations de métro). Malgré le temps d'encodage relativement long pour construire la matrice des temps de parcours, cette méthode ne requiert pas trop de données et fournit des résultats intéressants en matière d'accessibilité. Elle pourrait également être appliquée pour d'autres modes de transport et pour diverses échelles d'analyse (local, par exemple).

Pour certaines des mesures citées ci-dessus, l'utilisation d'un **temps** dit « **généralisé** », c'est-à-dire intégrant plusieurs composantes de temps (temps de transport jusqu'au terminal, temps d'attente au terminal, et temps de correspondance s'il y a lieu), permet d'obtenir des **résultats plus réalistes** (notamment pour certaines communes ardennaises). Le temps d'attente peut

être calculé sur base de la fréquence de desserte au terminal et permet de tenir compte du niveau de desserte de chaque gare (ce qui permet de faire la distinction entre les gares/stations de métro qui sont bien desservies et celles dont le niveau de desserte est faible). Les personnes habitant dans une ancienne commune *i* iront donc préférentiellement vers les gares/stations de métro dont le temps généralisé est minimum.

D'autres mesures (**coût global monétaire** et **accessibilité multimodale**) ont également été rapidement réalisées mais méritent d'être approfondies dans le cadre de recherches ultérieures. Afin de mieux informer sur le coût réel de la voiture et de favoriser le transfert modal vers des modes alternatifs, le coût global monétaire de l'utilisation journalière de la voiture devrait être comparé avec celui de l'utilisation des transports en commun. Pour différentes périodes de la journée, l'accessibilité multimodale (en transports en commun) devrait également être comparée à l'accessibilité en voiture. Cette simple comparaison permettrait non seulement de cibler les communes (ou les quartiers, ...) où l'accessibilité en transports en commun devrait être améliorée, mais aussi d'informer certaines personnes sur l'importance du choix modal en fonction de la période de la journée. Pendant les heures de pointe, les personnes habitant dans certaines anciennes communes desservies par des gares (par exemple, Louvain-la-Neuve, Haacht, Vilvoorde, Braine-l'Alleud, Lillois, ...) ont tout avantage à prendre les transports en commun et à laisser leur voiture au garage. Afin de se rapprocher de la définition des mesures d'accessibilité de type comportemental (« person-based measures »), des variables socio-économiques (âge, revenus, ...) pourraient également entrer en ligne de compte pour chaque ancienne commune (ou quartier) considéré.

Enfin, la dernière analyse réalisée dans la partie III du rapport se basait sur une **classification** des communes, établie en fonction de l'accessibilité aux villes, aux gares, et aux aéroports. L'analyse nous a non seulement permis de produire une image synthétique de l'accessibilité en Belgique, mais elle nous a aussi permis de comparer la situation de l'accessibilité pour différents moments de la journée (heures creuses-heures de pointe). L'effet de la congestion est ainsi clairement identifié, notamment au travers d'une réduction d'accessibilité qui est non seulement très marquée dans les zones urbaines, mais qui, indirectement, pénalise aussi très fortement certaines zones périurbaines et rurales (par effets successifs).

2. Transport de marchandises : recommandations de mesures d'accessibilité

Concernant le transport de marchandises, les quatre types de mesures évoquées ci-dessus sont également valables pour mesurer l'accessibilité (voir section 3.3.2., partie I du rapport). Néanmoins, le gros souci lié à leur mise en œuvre réside dans l'absence des données, ou encore dans les coûts associés à leur acquisition. En plus de ces mesures, des mesures de **coûts (généralisés)** sont utilisées et incorporent plusieurs composantes, notamment des coûts d'amortissements, des frais financiers, des coûts liés aux assurances, des charges salariales (chauffeurs et employés), des taxes et surtaxes, des coûts de carburants (et autres produits), des coûts de manutention, ou encore des coûts occasionnés par la congestion.

Etant donné que nous nous sommes surtout concentrés sur le transport de passagers, nous n'avons pas vraiment eu le temps de procéder à des mesures d'accessibilité appliquées au transport de marchandises. Néanmoins, afin d'étudier l'accessibilité de certaines zones d'activité (parcs industriels, zones industrialo-portuaires, ...), des **méthodes semblables** à celles utilisées dans la partie III du rapport pourraient également être appliquées au transport

de marchandises. De la même manière que le temps généralisé mesure l'accessibilité des anciennes communes i par rapport aux gares (ou, plus correctement, au « premier » train), le coût généralisé servirait à mesurer l'accessibilité aux zones d'activités j . La seule différence entre les deux mesures (temps et coût généralisés) réside dans la formulation de l'indicateur ; les composantes du temps généralisé sont, en effet, différentes de celles du coût généralisé.

Dans une optique de mobilité durable et de développement de l'intermodalité (notamment au travers de l'utilisation accrue du conteneur), certains résultats obtenus au cours d'une précédente recherche pourraient également servir pour mesurer l'accessibilité multimodale des communes. Menée dans le cadre du programme fédéral « Mobilité durable » (contrat MD/DD/01, Tâche 3 ; Hermia J.P. et Thomas I.), la recherche en question avait pour but de procéder à une **évaluation spatiale des réseaux de transport de marchandises en Belgique**. Parallèlement à cette recherche, un article scientifique a été écrit par Thomas *et al.* (2003) et applique plusieurs mesures d'accessibilité pour le transport routier, le transport fluvial, et le transport ferroviaire. Dans le but d'obtenir une **image synthétique de l'accessibilité multimodale**, certaines variables (accessibilité topologique associée au trois modes de transport et surface des activités économiques) ont finalement été rassemblées dans une analyse de classification. Les communes où l'intermodalité est (ou devrait être) favorisée sont ainsi très clairement identifiées. Sur base de la même méthode, d'autres résultats pourraient également être produits pour différentes catégories de marchandises. En fonction du type de produit transporté, certaines **contraintes supplémentaires** devraient entrer en ligne de compte (par exemple, contrainte de périssabilité, contrainte de capacité, ...) et, à la place de distances (qui servent à mesurer l'accessibilité topologique), des **coûts généralisés** devraient être utilisés pour mesurer l'accessibilité. Différents résultats d'accessibilité seraient alors obtenus pour chaque type de produit (mais aussi pour chaque mode de transport en particulier s'il n'est pas décidé de rassembler les résultats dans une analyse de classification).

Insistons ici sur le fait que le problème d'ajouter certaines contraintes supplémentaires (variables selon le type de produit et selon le mode de transport) et de pouvoir rendre compte du fait que certaines marchandises ne sont pas transportées via tel ou tel mode à cause de ces contraintes réside dans la **collecte des données**. Pour connaître le choix du mode de transport utilisé pour transporter les marchandises (et, donc, les contraintes liées à chaque mode et à chaque produit), des enquêtes devraient également être menées auprès des entreprises et des transporteurs. Notons que, parmi les facteurs qui sont déterminants dans le choix du mode de transport, la localisation des producteurs (et des clients) par rapport aux facilités de transport est très importante. Par exemple, la province du Limbourg reste l'une des plus attractives pour l'implantation de centres logistiques et de parcs industriels, notamment grâce à une offre de terrain élevée et à des prix de location très avantageux. Néanmoins, l'accessibilité ferroviaire est très mauvaise dans le nord-est de cette province, ce qui ne favorise pas le transport de marchandises par voie ferrée pour les entreprises qui s'y trouvent.

3. Disponibilité des données et perspectives

La plupart des données utilisées étaient soit disponibles via un contact direct avec les sociétés de transport, soit disponibles via le site Internet de la société considérée (ce qui nécessitait parfois un encodage manuel). Dans certains cas, les données ont pu être acquises dans des délais raisonnables, mais dans d'autres, les données n'existaient pas (cas de TEC ou absence de géoréférencement des données) ou étaient tout simplement indisponibles pour des raisons de confidentialité (cas de B-Cargo, qui opère maintenant dans un marché libéralisé et

fortement concurrentiel). L'analyse des résultats (partie III du rapport) nous a aussi montré que d'autres données pourraient être intéressantes à intégrer dans le cadre d'une analyse de l'accessibilité, notamment :

- i. **Des données de fréquence aux arrêts** de bus/tram/méto (par exemple, nombre de bus/trams/métros qui desservent l'arrêt considéré). Pour la plupart des sociétés de transports en commun (STIB, TEC, De Lijn), les données sont seulement encodées pour les lignes de bus/tram/méto, mais le fait d'extrapoler les valeurs de fréquence aux arrêts n'est pas toujours très représentatif de la réalité. Sur certaines lignes, il existe parfois des points d'arrêts facultatifs qui sont gérés de façon adaptative (en fonction de la demande) et qui ne disposent pas du même niveau de desserte que les autres arrêts de la ligne. L'intérêt d'utiliser des données de fréquence permet de tenir compte du niveau de desserte d'un arrêt, et donc de l'accessibilité de l'aire environnante.
- ii. **Des valeurs de pondération selon le type de liaison** (ou de mode de transport). Dans le cas du transport ferroviaire de passagers (SNCB), le type de liaison (IC, IR, L, ...) a, en effet, beaucoup d'importance dans la mesure de l'accessibilité, dans le sens où la présence (ou l'absence) de trains rapides dans une gare influencera l'individu dans le choix de la gare de départ. Ces valeurs de pondération pourraient être obtenues par le biais d'enquêtes auprès des personnes prenant les transports en commun.
- iii. **Des données de temps moyen pour garer la voiture aux parkings** des gares/stations de méto/aéroports. Ces données pourraient être obtenues par le biais d'enquêtes (auprès des navetteurs) et serviraient à être intégrées dans une mesure de temps généralisé (entre le domicile et la gare, par exemple). Pour les cyclistes, des données de **temps moyen pour parquer son vélo** (et le cadenasser) pourraient également être considérées.
- iv. **Des données de temps d'embarquement au principaux terminaux aéroportuaires belges** (et éventuellement, étrangers). Ces données pourraient également être obtenues par le biais d'enquêtes et serviraient à être intégrées dans une mesure de temps généralisé (entre le domicile et l'aéroport, par exemple). Lorsqu'une voiture est utilisée pour rejoindre l'aéroport, le temps nécessaire pour se garer dans les parkings pourrait aussi entrer en ligne de compte. L'accessibilité en voiture et celle en transports en commun pourraient alors être comparées.
- v. **Des valeurs d'attractivité des aéroports** pourraient également être calculées et utilisées dans une mesure de l'accessibilité aux terminaux aéroportuaires. Ces valeurs pourraient être fonction du nombre de destinations, du prix des compagnies aériennes, des disponibilités en parking, ... et seraient utilisées pour obtenir une meilleure représentation des aires de service de chaque aéroport.
- vi. **Des données de temps plus fiables pour les déplacements** d'un point i à un point j . Les données de MOBEL sont, en ce sens, trop subjectives et non représentatives spatialement. Certaines erreurs d'encodage empêchent également d'utiliser les données pour modéliser le temps de parcours. Dans le but de résoudre les problèmes de subjectivité qui sont propres aux enquêtes, les nouvelles technologies d'information et de communication (NTIC) pourraient éventuellement être utiles pour obtenir des données précises de temps de parcours (par exemple, grâce à des ordinateurs de bord, GPS, ... dans le cas de déplacements motorisés). Ces données pourraient être utiles pour obtenir des résultats d'accessibilité plus précis, et portant sur différentes périodes de la journée (heures de pointe – heures creuses). Comme nous l'avons fait dans la partie III du rapport, des SIG pourraient ensuite être utilisés

- pour modéliser et cartographier le temps perdu (en valeurs absolues et relatives) dans les embouteillages.
- vii. **Des données de temps de parcours, de distances, et d'accès des personnes à mobilité réduite (PMR) aux terminaux de transport.** L'utilisation d'enquêtes et de NTIC pourraient aider à obtenir de telles données. L'intérêt de ce type de mesure est d'obtenir des mesures d'accessibilité des PMR aux transports.
 - viii. **Des données de temps de parcours réel des transports en commun, notamment pour différentes périodes de la journée** (par exemple, heures creuses et heures de pointe). Ces données pourraient être obtenues par le biais des NTIC (ordinateurs de bord, GPS), mais le coût d'installation des appareils risque d'être relativement élevé. Néanmoins, avec la mise en place progressive du système Galileo, ces appareils auraient l'avantage d'être utilisés : (1) dans le cadre de recherches en transports (notamment en matière d'accessibilité), (2) dans le cadre d'une optimisation de la gestion des flottes de véhicules (par exemple, la localisation du bus serait donnée en temps réel aux usagers, qui seraient alors prévenus d'un éventuel retard), et (3) dans le cadre d'une sécurisation des véhicules et du personnel (en cas d'agression dans un véhicule, l'appareil de bord donnerait la localisation précise du véhicule, et les services d'urgence interviendraient de manière plus efficace pour résoudre le problème). L'inconvénient du coût est donc rapidement compensé par les nombreux avantages qui découlent de l'utilisation de ces appareils.

Concernant le transport de marchandises, nous n'avons malheureusement pas eu le temps de produire des résultats d'accessibilité mais, sur base des données récoltées (voir partie II du rapport), nous avons quand même pu constater qu'il serait intéressant d'obtenir des données de flux **localisées dans l'espace**, avec des origines et des destinations plus **précises** que le niveau NUTS 5 (communes). Souvent, les mesures se limitent seulement à quantifier le nombre de tonnes transportées (ou nombre de tonnes-kilomètres) et négligent la localisation des flux dans l'espace.

Outre la localisation des flux dans l'espace, des **enquêtes** devraient être menées auprès des entreprises et des transporteurs pour savoir quelles sont les raisons (et les contraintes) qui ont poussé à l'utilisation de tel ou tel mode de transport pour acheminer les marchandises d'un point à un autre.

Enfin, dans le but d'épargner du temps passé à collecter et inventorier les données (spatiales, statistiques, etc.), **l'ensemble des données utilisées en transports devrait être centralisé, uniformisé, et géoréférencé**. En Belgique, les données sont fortement dispersées (entre les différentes sociétés de transport, les différentes administrations, etc.) et rendent la collecte des données très longue et très difficile. L'absence et le non-géoréférencement de certaines données obligent également les chercheurs à perdre un temps démesuré pour encoder les données (exemple de la SNCB et de la STIB, pour construire les matrices O-D entre les différentes gares et stations). Dans certains cas, le manque de données requerrait un temps d'encodage tel que la mesure ne peut pas être mise en œuvre. En amont de la collecte des données, certaines données doivent aussi être uniformisées (c'est par exemple le cas du transport en bus, qui se fait via trois sociétés de transport différentes), ce qui nécessite aussi un certain temps de travail.

4. Quel intérêt d'utiliser des mesures d'accessibilité ?

Les différentes analyses menées dans la troisième partie de ce rapport (méthodologie et résultats) ont maintes fois montré que les mesures d'accessibilité pouvaient servir de **support décisionnel dans le cadre de politiques de mobilité et d'aménagement du territoire**. Elles ont aussi montré l'importance d'une **concertation** entre ces deux politiques, ainsi que la nécessité de mettre en œuvre des études chargées de mesurer les **incidences** (sur la mobilité locale et régionale) causées par l'implantation de lotissements et d'entreprises. De manière générale, les indicateurs d'accessibilité sont utiles dans de nombreux cas :

- i. Afin de mesurer l'accessibilité, **le choix de l'indicateur** est crucial et dépend très fort du mode de transport choisi et de l'objectif visé. Malgré certaines ressemblances dans les résultats, les indicateurs produisent des images spatiales différentes et conduisent parfois à des décisions de gestion et d'exploitation très divergentes. L'utilisation d'indicateurs d'accessibilité relativement simples (par exemple, temps de parcours) permet d'identifier quelles sont les **communes les plus accessibles** et quelles sont celles qui sont **les plus périphériques par rapport aux villes et aux facilités de transport**. Le temps généralisé permet également d'intégrer des données de fréquence (par exemple, pour les gares), donnant ainsi une meilleure approche de la réalité de desserte de certaines communes (notamment en Ardenne ou en province du Limbourg). Enfin, des indicateurs gravitaires (accessibilité potentielle) permettent également d'identifier les communes qui sont les plus accessibles à un plus grand nombre de personnes ou d'emplois. Globalement, tous ces indicateurs montrent une certaine **hétérogénéité des structures** en Belgique, notamment en identifiant les zones les plus défavorisées en termes d'accessibilité et l'importance de Bruxelles qui se place au cœur du système de transport.
- ii. L'analyse de l'accessibilité pour différentes périodes de la journée (heures creuses et heures de pointe) permet de localiser les communes où l'**effet de la congestion** se fait le plus sentir au niveau de l'accessibilité. Une simple différence relative entre le temps de parcours mis durant des heures de pointe et celui mis pendant des heures creuses permet de quantifier le temps de trajet supplémentaire qu'il faut passer sur la route à cause de la congestion. Des calculs annexes (effectués grâce aux SIG) permettent également d'estimer les impacts de la congestion sur l'accessibilité des emplois et de la population. Enfin, l'utilisation d'une analyse de classification nous a encore permis d'identifier spatialement la réduction d'accessibilité causée par la congestion routière (surtout observable pour les régions urbaines).
- iii. Dans le cadre d'une politique de transport, l'utilisation de mesures d'accessibilité basées sur une analyse des résidus permet d'étudier l'**effet de l'exploitation fonctionnelle du réseau** et d'évaluer dans quelle mesure cette dernière compense ou accentue les disparités propres à sa géométrie. En se référant à une sorte de « moyenne d'exploitation » (qui correspond à la droite de régression), nous pouvons ainsi distinguer les gares qui sont pénalisées de celles qui sont avantagées par le service ferroviaire.
- iv. Les résultats obtenus en matière d'accessibilité montrent qu'il y a tout intérêt à **favoriser la revitalisation des centres urbains**, où la desserte en transports est élevée, **et inciter les personnes à ne pas se localiser dans des lieux mal desservis par les transports en commun**. Il est donc nécessaire de **concentrer l'habitat et les activités**, afin d'assurer une meilleure proximité des emplois et des habitants par rapport aux facilités de transport. De plus, cette concentration devrait surtout se faire dans des secteurs/quartiers où la desserte est privilégiée (en termes de vitesse, de

fréquence, de disponibilité en places de parking, etc.), **de sorte que les investissements en transports n'augmentent pas avec la dispersion de l'habitat et que le choix modal soit orienté vers une utilisation accrue des transports en commun**. Autant que possible, le caractère rural de certaines communes doit donc être conservé et les grands projets immobiliers (résidences, bureaux, ...) doivent être localisés de manière optimale par rapport aux facilités de transport. En effet, l'implantation d'entreprises et de grands projets immobiliers dans des zones dites « périphériques » (par rapport aux transports) augmente la part modale de la voiture et a des conséquences graves sur la mobilité et sur l'environnement⁹³. Et pourtant, de plus en plus de personnes continuent à s'installer dans des zones peu accessibles, où la desserte en transports en commun est relativement faible. A titre d'exemple, l'évolution de la population dans l'est du Brabant Wallon est l'une des plus fortes en Belgique ; par exemple, la population d'Incourt a crû d'environ 39 % entre 1989 et 2006. Dans les autres communes de l'est de la province, la croissance relative est également très importante, avec des évolutions de l'ordre de 20 à 30 %. Dans ce cadre-là, est-ce vraiment durable d'améliorer la desserte dans des zones peu accessibles et où la population croît continuellement, augmentant ainsi les coûts d'exploitation des transports en commun, la mobilité et les coûts environnementaux ? Ou ne faudrait-il pas tout simplement **adapter le système d'activité au système de transport** ?

- v. Sur base des différentes cartes d'accessibilité aux secteurs à forte densité d'emploi (plus de 850 emplois/km²), nous avons vu qu'un très grand nombre d'entreprises sont localisées à plus de 3 kilomètres des gares, seuil à partir duquel l'utilisation de la voiture est intense. Dans le Brabant Flamand, les résultats ont, par exemple, montré que de très nombreuses entreprises sont localisées en périphérie de Bruxelles, à une distance variant entre 3 et 8 kilomètres de la gare la plus proche. Il est donc très probable que la plupart des employés de ces entreprises utilisent intensivement la voiture pour les déplacements domicile-travail, contribuant ainsi à la congestion chronique du ring de la capitale (R0). En outre, si les entreprises en question sont de type commercial (par exemple, concessionnaires automobiles, grandes surfaces), les déplacements de la clientèle et des unités de livraison (camions de marchandise) sont également des facteurs qui concourent à l'augmentation de la congestion aux abords de la capitale. Or, dans l'optique d'une mobilité durable et d'une meilleure qualité de vie, les entreprises qui engagent un grand nombre de personnes devraient idéalement **se localiser à proximité des grands terminaux de transport pour ainsi pousser l'individu à réfléchir sur la pertinence de son choix modal**. Comme dans le cas de la politique ABC (Pays-Bas), les politiques de transport et d'aménagement du territoire devraient donc **inciter** les activités (entreprises dont le nombre d'employés est élevé) à se localiser d'une telle manière que les transports publics deviennent plus compétitifs par rapport à la voiture. Pourquoi ne pas mettre en place (ou engager) des bureaux d'étude, chargés d'analyser et de proposer des localisations qui sont optimales par rapport aux facilités de transport, mais aussi par rapport à d'autres contraintes comme les ressources (main d'œuvre, énergie, ...), le marché, ou encore l'environnement ? Ces bureaux seraient spécialisés en matière de localisation et de SIG (afin de combiner plusieurs couches d'informations : accessibilité aux transports, environnement, ressources en main d'œuvre et en énergie, ...) et auraient pour

⁹³ Par exemple, augmentation de la consommation de carburant, augmentation de la congestion routière, augmentation de la pollution (atmosphérique, sonore et visuelle), augmentation des « barrières », augmentation des coûts d'exploitation des transports en commun (qui, pour assurer une desserte équitable, doivent allonger leurs lignes, augmenter le nombre d'arrêts, augmenter le nombre de bus en service, ...), augmentation des frais de voirie, diminution des espaces agricoles et des zones naturelles, ...

principale fonction d'avaliser l'implantation de certains projets (immobiliers ou autres) et de localiser les activités humaines de manière optimale, tout en respectant certaines contraintes qui vont dans le sens d'un développement durable.

Que ce soit dans le cadre d'une politique de transport ou d'aménagement du territoire, les indicateurs d'accessibilité pourraient donc servir de support décisionnel et de base de travail pour des études qui seraient ensuite menées à des échelles plus locales (voir **Figure 35**). En effet, l'information donnée par les résultats d'accessibilité est très large et ouvre le champ à des analyses plus ciblées. Cette information pourrait d'ailleurs être validée par des enquêtes, menées au sein des entreprises ou des communes concernées, et par des diagnostics sur les déplacements des travailleurs. Dans certains cas, les résultats fournis par ces enquêtes et diagnostics confirmeraient ainsi la double nécessité d'appliquer une politique de concentration des activités humaines (habitat et entreprises) à proximité des facilités de transport et d'accorder le profil d'accessibilité du lieu au profil de mobilité de l'activité en question. L'analyse des diagnostics et des enquêtes pourrait alors conduire à l'élaboration de certaines variantes (ou scénarios) au niveau du système de transport et en matière d'aménagement du territoire. Sur base d'une évaluation à l'aide d'indicateurs d'accessibilité, les meilleures variantes seront choisies et mèneront alors à une série d'actions et de mesures préventives. Enfin, les impacts de ces actions et mesures seront analysés et, ensuite, réévalués par le biais des indicateurs d'accessibilité qui ont été utilisés dès le début de l'analyse.

A titre d'exemple, nous avons vu ci-dessus que les indicateurs d'accessibilité produits au niveau national mettaient en évidence le faible niveau d'accessibilité de certaines entreprises flamandes (en périphérie de Bruxelles, ou dans la province du Limbourg) et de certaines communes de l'est du Brabant Wallon (actuellement en pleine croissance démographique). Des mesures plus locales (et utilisant éventuellement d'autres indicateurs) peuvent ensuite être appliquées pour les zones qui ont été précédemment ciblées, notamment afin de mieux appréhender le problème. A partir des indicateurs d'accessibilité établis pour différentes échelles d'analyse, une analyse peut être faite et peut ouvrir le champ à des enquêtes et/ou à des diagnostics des déplacements (par exemple, pour les personnes qui travaillent dans les entreprises situées en périphérie de Bruxelles). A partir de l'analyse des enquêtes/diagnostics, diverses actions (ou de mesures préventives) peuvent ensuite être proposées et testées sous forme de scénarios ; seules celles qui rencontrent les objectifs des décideurs sont finalement retenues. Au sein du cycle de déclin urbain, un exemple d'action (ou de mesure préventive) pourrait être d'inciter les activités humaines (domiciles et lieux de travail) à se localiser plus près des facilités de transport, de sorte que la part modale des transports en commun augmente. Après un certaine période de temps T , il y aurait moins de trafic sur les routes, et donc moins d'embouteillages. Les transports publics de surface (et qui ne se déplacent pas en site propre) deviendraient alors plus rapides, plus performants, et donc plus attractifs. Comme conséquence, les transports en commun bénéficieraient d'une hausse de leur fréquentation et l'offre de transport public s'accroîtrait. Parallèlement à cela, les nuisances liées aux déplacements motorisés diminueraient, et la ville redeviendrait attractive pour y habiter et pour y travailler (grâce à une amélioration de son accessibilité).

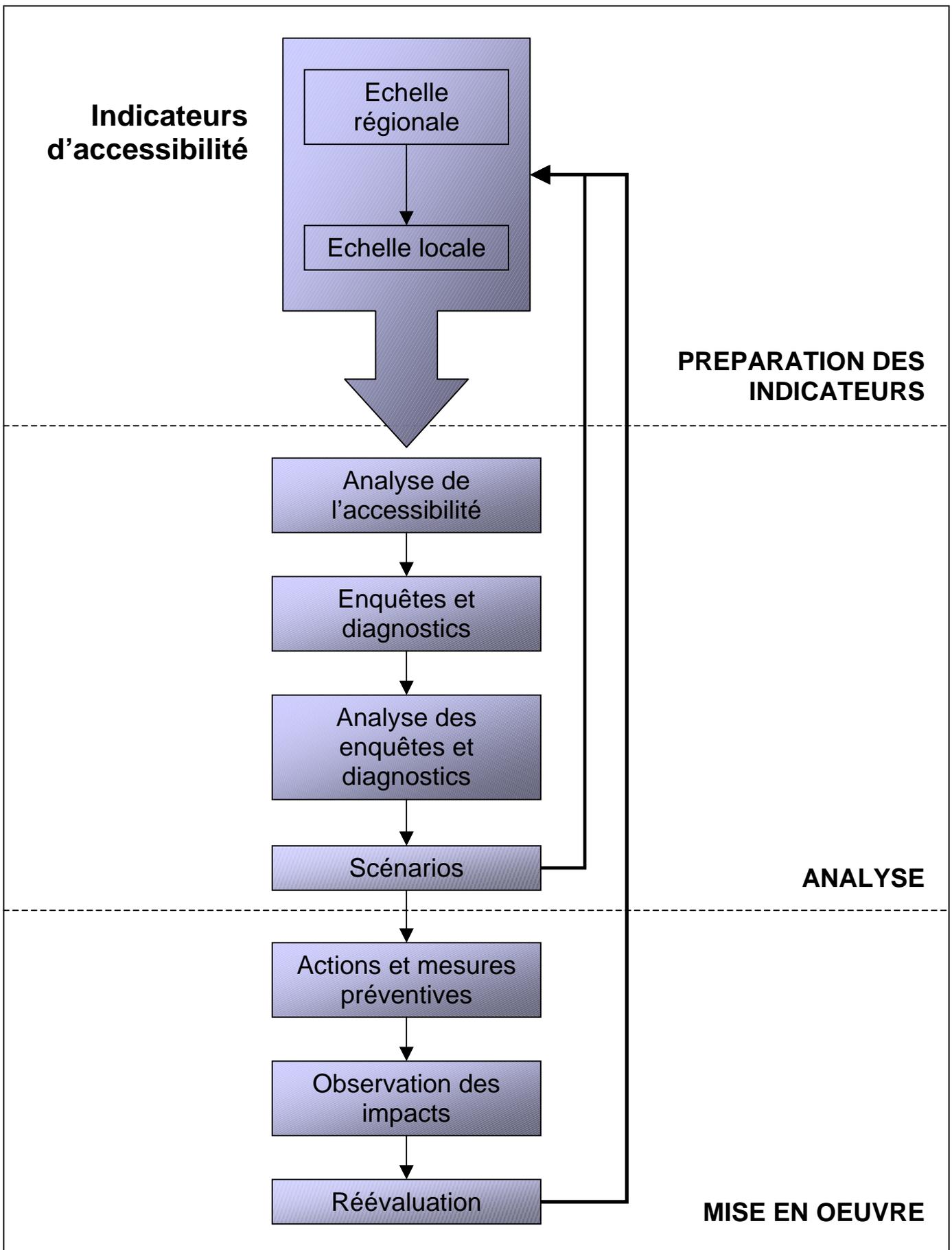


Figure 35 : Les indicateurs d'accessibilité en tant que support décisionnel et base de travail pour des analyses plus locales. A noter que ces indicateurs sont d'une importance cruciale dans l'établissement des Plans de Transport.

5. Conclusion

Conformément à l'attente, l'analyse de l'accessibilité est complexe et nécessite des données spécifiques, souvent difficiles à obtenir. Même si le réseau de transport et son exploitation constituent la base du calcul, il convient de mesurer de nombreuses composantes de coûts et pondérations pour affiner les résultats. En effet, l'analyse de l'accessibilité ne doit pas se limiter à la seule mesure de la performance du réseau, mais elle doit aussi englober d'autres composantes liées aux activités (localisation des services et des terminaux de transport, etc.), aux individus (variables socio-économiques, handicap, etc.), et aux contraintes temporelles (horaires, organisation de la journée par les individus, etc.). Le travail effectué dans le cadre de ce projet de recherche n'est qu'une première étape de mesure de l'accessibilité et pourrait être amélioré en intégrant ces différentes composantes.

A l'avenir, il serait intéressant de procéder à une centralisation des données en transport afin de garantir la qualité des résultats ainsi que l'uniformité géographique, intersectorielle et intermodale. Néanmoins, il s'agit d'une gageure qui paraît bien difficile à réaliser à l'heure de la libéralisation des marchés et de la confidentialité des données.

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions très sincèrement la Politique Scientifique Fédérale et le SPF Mobilité et Transports pour avoir financé ce projet de recherche. Nous remercions aussi les personnes du comité d'accompagnement pour la patience dont ils ont fait preuve et pour avoir apporté certains commentaires constructifs au rapport final.

Enfin, nous tenons à remercier très sincèrement toutes les personnes qui ont eu la patience et la gentillesse de nous aider et de collaborer pleinement à la collecte des données afin que ce projet aboutisse. Même si toutes les données récoltées n'ont pas pu être utilisées pour mesurer l'accessibilité, l'inventaire réalisé dans la deuxième partie de ce rapport (Part II : Data inventory) aura au moins l'avantage de servir pour d'autres recherches ultérieures en matière d'accessibilité. En particulier, nos remerciements vont surtout aux personnes suivantes : Michel Barette, Laurent Calay, Jacques Charlier, Albert Counet, Nicolas Crama, Dominique De Batselier, Luc Duveiller, Hadewych De Sadeleer, Michel Favay, Martin Grandjean, Bart Jourquin, Jean-Marc Lambotte, Luc Lebrun, Laurent Leroy, Olivier Marchal, Christian Masset, Marc Masy, Gérard Petre, Xavier Tackoen, Marina Thunus, Rudy Vandereydt, Benoît Vanderputten, Jo Wijnant, et Mohammed Yousfi.

References

Références bibliographiques (partie I du rapport)

- ARNOLD, P., SANDRAPS, S. (1998). "Réseau ferroviaire et accessibilité en Wallonie: Structure spatiale et structure fonctionnelle". *Acta Geographica Lovaniensia*, n°37, pp. 417-429.
- BANISTER, D., BERECHMAN, Y. (2001). "Transport investment and the promotion of economic growth". *Journal of Transport Geography*, vol. 9, pp. 209-218.
- BARADARAN, S., RAMJERDI, F. (2001). *Performance of Accessibility Measures in Europe*. Stockholm, Sweden: Royal Institute of Technology.
- BAVOUX, J.-J., BEAUCIRE, F., CHAPELON, L., ZEMBRI, P. (2005). *Géographie des transports*. Paris, Armand Colin, 232 pages.
- BEAUJEU-GARNIER, J. (1995). *Géographie urbaine*. Paris, Armand Colin, 349 pages.
- BERTOLINI, L., LE CLERCQ, F., KAPOEN, L. (2005). "Sustainable accessibility: a conceptual framework to integrate transport and land use plan-making. Two test-applications in the Netherlands and a reflection on the way forward". *Transport Policy*, vol. 12, pp. 207-220.
- BEUTHE, M., JOURQUIN, B., GEERTS, J-F., KOUL À NDJANG' HA, C. (2001). "Freight transportation demand elasticities: a geographic multimodal transportation network analysis". *Transportation Research Part E*, vol. 37, pp. 253-266.
- BONNAFOUS, A. (1987). "The regional impact of the TGV". *Transportation*, vol. 14, pp. 127-137.
- BRANS, J.P., ENGELEN, G., HUBERT, L. (1981). "Accessibility to a Road Network: Definitions and Applications". *The Journal of the Operational Research Society*, vol. 32, n° 8, pp. 653-673.
- CAUVIN, C. (2005). "A systemic approach to transport accessibility. A methodology developed in Strasbourg: 1982-2002". *Cybergéo: Revue européenne de géographie*, n° 311.
- CHAMBRE DES REPRÉSENTANTS DE BELGIQUE (2003). Note de Politique Générale du Service public fédéral Mobilité et Transports du ministre de la Mobilité et de l'Economie sociale pour l'année budgétaire 2004. Chambre des Représentants de Belgique, doc 51 0325/022, Brussels.
- CHAMBRE DES REPRÉSENTANTS DE BELGIQUE (2004). Note de Politique Générale. Mobilité 2005-2007. Chambre des Représentants de Belgique, doc 51 1371/006, Brussels.
- CHAMBRE DES REPRÉSENTANTS DE BELGIQUE (2005). *Note de Politique Générale du ministre de la Mobilité*. Chambre des Représentants de Belgique, doc 51 2045/018, Brussels.
- CHARLIER, J. (1998). "Les paradoxes du pôle de croissance industrialo-portuaire anversoïse". *Acta Geographica Lovaniensia*, n°37, pp. 431-453.
- CHARLIER, J. (2005). *Le Port d'Anvers*. Antwerp, Technical visit CIEM (05/10/2005).
- CHARLIER, J. (2006). "La mobilité dans et autour de Bruxelles : diagnostic, défis et enjeux généraux". Congress Rail Meets Road III, Heysel, Brussels.
- CHURCH, R.L., MARSTON, J.R. (2003). "Measuring Accessibility for People with a Disability". *Geographical Analysis*, vol. 35, n° 1, pp. 83-96.
- COLSON, B., CORNELIS, E., MASQUILIER, B. (1999). *Introduction à la Modélisation Mathématique des Transports*. Groupe de Recherche sur les Transports, FUNDP Namur.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (2001). *White Paper. European transport policy for 2010: time to decide*. COM(2001) 370 final, Brussels.

- CONFÉRENCE PERMANENTE DU DÉVELOPPEMENT TERRITORIAL (CPDT) (2005). *Protocole de Kyoto : aménagement du territoire, mobilité et urbanisme. Mesures pour faciliter l'adhésion de la Région wallonne au Protocole de Kyoto et pour limiter les émissions de gaz à effet de serre*. Namur, Ministère de la Région wallonne, 203 pages.
- CONSEIL CENTRAL DE L'ECONOMIE (2006). *Lettre mensuelle socio-économique*. Conseil Central de l'Economie, n° 112, Brussels.
- CUSHMAN & WAKEFIELD HEALEY & BAKER (2003). *European Distribution Report*. Available from < <http://www.cushmanwakefield.com/cwglobal/jsp/publication.jsp>>
- DELEPIÈRE, C. (2005). *Cours Transport et Environnement*. Bruxelles, CIEM.
- DOMENICH, T., MCFADDEN, D. (1975). *Urban Travel Demand: A Behavioral Analysis*. Amsterdam, North Holland.
- DONG, X., BEN-AKIVA, M.E., BOWMAN, J.L., WALKER, J.L. (2006). "Moving from trip-based to activity-based measures of accessibility". *Transportation Research, Part A*, vol. 40, pp. 163-180.
- DUPUY, G., STRANSKY, V. (1996). "Cities and highway networks in Europe". *Journal of Transportation Geography*, vol. 4, n° 2, pp. 107-121.
- GEURS, K.T., RITSEMA VAN ECK, J.R. (2001). *Accessibility measures: review and applications*. RIVM Report 408505 006, National Institute of Public Health and Environment, Bilthoven.
Available from <www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/408505006.html>
- GEURS, K.T., VAN WEE, B. (2004). "Accessibility of land-use and transport strategies: review and research directions". *Journal of Transport Geography*, vol. 12, pp. 127-140.
- GUTIÉRREZ, J. (2001). "Location, economic potential and daily accessibility: an analysis of the accessibility impact of the high-speed line Madrid-Barcelona-French border". *Journal of Transport Geography*, vol. 9, pp. 229-242.
- GUTIERREZ, J., URBANO, P. (1996). "Accessibility in the European Union: the impact of the trans-European road network". *Journal of Transport Geography*, vol. 4, n° 1, pp. 15-25.
- GUTIERREZ, J., GONZALEZ, R., GOMEZ, G. (1996). "The European high-speed train network: Predicted effects on accessibility patterns". *Journal of Transport Geography*, vol. 4, n° 4, pp. 227-238.
- HAGGETT, P., CLIFF, A.D., FREY, A. (1977). *Locational Analysis in Human Geography*. London, Edward Arnold.
- HALDEN, D. (2002). "Using accessibility measures to integrate land use and transport policy in Edinburgh and the Lothians". *Transport Policy*, vol. 9, pp. 313-324.
- HELLING, A. (1998). "Changing Intra-Metropolitan Accessibility in the U.S.: Evidence from Atlanta". *Progress in Planning*, vol. 49, pp. 55-108.
- HILAL, M. (2004). "Accessibilité aux emplois en France : le rôle de la distance à la ville". *Cybergeo: Revue européenne de géographie*, n° 293.
- HILBER, R., ARENDT, M. (2004). *Development of accessibility in Switzerland between 2000 and 2020: first results*. Conference paper STRC 2004, Monte Verità/Ascona.
- HILLING, D. (1996). *Transport and Developing Countries*. London/New York, Routledge, 345 pages.
- JACQUEMIN, A., TULKENS, H., MERCIER, P. (2000). *Fondements d'économie politique*. Bruxelles, De Boeck Université, 519 pages.
- JIANG, B., CLARAMUNT, C., BATTY, M. (1999). "Geometric accessibility and geographic information: extending desktop GIS to space syntax". *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 23, pp. 127-146.

- JOHNSTON, R.J., GREGORY, D., PRATT, G., WATTS, M. (2000). *The Dictionary of Human Geography*. Oxford, Blackwell Publishing, 958 pages.
- JURION, B. *Théorie économique des finances publiques*. Faculté d'Economie, de Gestion et de Sciences Sociales de l'Université de Liège (EGSS), ULG.
- KAUFMANN, V., JEMELIN, C. (2004). "La motilité, une forme de capital permettant d'éviter les irréversibilités socio-spatiales". Communication of the conference « *Espaces et sociétés d'aujourd'hui. La géographie sociale dans les sciences et dans l'action* ». Rennes, 21-22th october 2004, 10 pages.
- KWAN, M-P. (1998). "Space-time and Integral Measures of Individual Accessibility: A Comparative Analysis Using a Point-based Framework". *Geographical Analysis*, vol. 30, n° 3, pp. 191-216.
- LAU, J.C.Y., CHIU, C.C.H. (2004). "Accessibility of workers in a compact city: the case of Hong Kong". *Habitat International*, vol. 28, pp. 89-102.
- LINNEKER, B., SPENCE, N. (1996). "Road transport infrastructure and regional economic development: the regional development effects of the M25 London orbital motorway". *Journal of Transport Geography*, vol. 4, n° 2, pp. 77-92.
- MAKRI, M. B. (2001). Accessibility Indices. A Tool for Comprehensive Land-Use Planning. Division of Traffic Planning, LTH.
- MAKRI, M-C., FOLKESSON, C. (1999). *Accessibility Measures for Analyses of Land Use and Travelling with Geographical Information Systems*. Institutionen för Teknik och Samhälle, LTH.
- MARCADON, J., AUPHAN, E., BARRE, A., CHESNAIS, M. (1997). *Les transports, géographie de la circulation dans le monde d'aujourd'hui*. Paris, Armand Colin, 215 pages.
- MERENNE-SCHOUMAKER, B. (2003). *Géographie des services et des commerces*. Rennes, Presses Universitaires de Rennes (PUR), collection Didact Géographie, 239 pages.
- MONTULET, B. (2006). "La sociologie face à la mobilité. Une autre manière de voir la mobilité". CIEM conference, ULB, Bruxelles.
- MURACO, W.A. (1972). "Intraurban Accessibility". *Economic Geography*, vol. 48, n° 4, pp. 388-405.
- MURRAY, A.T., DAVIS, R., STIMSON, R.J., FERREIRA, L. (1998). "Public Transportation Access". *Transportation Research Part D*, vol. 3, n° 5, pp. 319-328.
- OWEN, W. (1987). *Transport and World Development*. Baltimore, John Hopkins University Press.
- OBSERVATOIRE EN RESEAU DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE EUROPEEN (2004). *Espon Project 1.2.1. : Transport Services and Networks: Territorial Trends and Basic Supply of Infrastructure for Territorial Cohesion*. Available from: <http://www.ums-riate.com/tir.php>.
- PEETERS, D., THISSE, J.F., THOMAS, I. (1998). "Transportation Networks and the Location of Human Activities". *Geographical Analysis*, vol. 30, n° 4, pp. 355-371.
- PLAN RÉGIONAL DE DÉVELOPPEMENT (2001). *Les 12 priorités*. Available from: <http://www.prd.irisnet.be/>. Visited the 29th march 2006.
- RAPINE, C. (2006). *Théorie des graphes*. Available from: <http://gilco.inpg.fr/~rapine/Graphes/>. Visited the 12th april 2006.
- RECKER, W.W., CHEN, C., McNALLY, M.G. (2001). "Measuring the impact of efficient household travel decisions on potential travel time savings and accessibility gains". *Transportation Research Part A*, vol. 35, pp. 339-369.

- RITSEMA VAN ECK, J.R., DE JONG, T. (1999). "Accessibility analysis and spatial competition effects in the context of GIS-supported service location planning". *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 23, pp. 75-89.
- RODRIGUE, J-P., COMTOIS, C., SLACK, B. (2005). *Transport Geography on the Web*, Hofstra University, department of Economics & Geography. Available from <<http://people.hofstra.edu/geotrans>>
- RUIMTELIJK ORDENING IN VLAANDEREN (2004). *Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen*. Available from: <http://www2.vlaanderen.be/ned/sites/ruimtelijk/index.html>. Visited the 29th march 2006.
- SCHÉMA DE DÉVELOPPEMENT DE L'ESPACE RÉGIONAL (1999). *Schéma de développement de l'espace régional: Synthèse*. Available from : <http://sder.wallonie.be/Default.htm#7>. Visited the 29th march 2006.
- SHEN, G. (2005). "Location of manufactured housing and its accessibility to community services: a GIS-assisted spatial analysis". *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 39, pp. 25-41.
- SCHÜRMMANN, C., TALAAT, A. (2002). *The European Peripherality Index*. Paper presented at the 42nd Congress of the European Regional Science Association (ERSA). Institute of Spatial Planning (IRPUD), University of Dortmund.
- SERVICES FEDERAUX DES AFFAIRES SCIENTIFIQUES, TECHNIQUES ET CULTURELLES, SSTC (2001). *Enquête nationale sur la mobilité des ménages : Réalisations et résultats. Rapport final*. Contract MD/13/036, FUNDP-GRT-LV-UIA-IW-INS.
- SPIEKERMANN, K., NEUBAUER, J. (2002). *European Accessibility and Peripherality: Concepts, Models and Indicators*. Report 2002:9. Stockholm: Nordregio.
- THOMAS, I. (2002). *Transportation Networks and the Optimal Location of Human Activities: A Numerical Geography Approach*. Cheltenham/Northampton, Edward Elgar, 293 pages.
- THOMAS, I., HERMIA, J-P., VANESLANDER, T., VERHETSEL, A. (2003). "Accessibility to Freight Transport Networks in Belgium: A geographical approach". *Journal of Economic and Social Geography*, vol. 94, n° 4, pp. 424-438.
- VANDENBULCKE, G. (2005). *Localisations optimales et distribution de la demande dans l'espace : Simulations sur réseaux théoriques*. Thesis presented to get the academic rank of bachelor in geographical sciences (Université Catholique de Louvain-la-Neuve/UCL), Louvain-la-Neuve, 142 pages.
- VAN DEYNZE, L. (2001). *L'accessibilité ferroviaire en Belgique : Les planifications IC/IR successives de la SNCB*. Thesis presented to get the academic rank of bachelor in geographical sciences (Université Catholique de Louvain-la-Neuve/UCL), Louvain-la-Neuve, 120 pages.
- VAN HERZELE, A., WIEDEMANN, T. (2003). "A monitoring tool for the provision of accessible and attractive urban green spaces". *Landscape and Urban Planning*, vol. 63, pp. 109-126.
- VAN WEE, B., HAGOORT, M., ANNEMA, J.A. (2001). "Accessibility measures with competition". *Journal of Transport Geography*, vol. 9, pp. 199-208.
- WITLOX, F. (2002), *European Distribution Centres (EDCs) in Flanders – revisited, Special Lloyd - Distribution Centers*, pp. 73-85.
- WOLKOWITSCH, M. (1992). *Géographie des transports*. Paris, Armand Colin, 191 pages.
- WOUTERS, J-P. (2005). "Mobilité : Etat des lieux et perspectives en Région de Bruxelles-Capitale". CIEM conference, ULB, Brussels.
- WU, B.M., HINE, J.P. (2003). "A PTAL approach to measuring changes in bus service accessibility". *Transport Policy*, vol. 10, pp. 307-320.

- ZHU, X., LIU, S. (2004). "Analysis of the impact of the MRT system on accessibility in Singapore using an integrated GIS tool". *Journal of Transport Geography*, vol. 12, pp. 89-101.

Littérature citée à partir des précédentes références (partie I du rapport)

- AL-MOSAIND, M.A., DUEKER, K.J., STRATHMAN, J.G. (1993). "Light-rail transit stations and property values: a hedonic price approach". *Transportation Research Record 1400*, pp. 90-94.
- ANDERSON, W., KANAROGLOU, P., MILLER, E. (1996). "Urban form, energy and the environment: a review of issues, evidence and policy". *Urban Studies*, vol. 33, n° 1, pp. 7-35.
- ARENTZE, T.A., BORGERS, A.W.J., TIMMERMAN, H.J.P. (1994). "Multistop-Based Measurements of Accessibility in a GIS Environment". *International Journal of Geographical Information Systems*, vol. 8, pp. 343-356.
- AUPHAN, E. (1992). "Qualité de la desserte et situation des villes sur le réseau ferré". *Revue d'histoire des chemins de fer*, vol. 5-6, pp. 327-337.
- AXHAUSEN, K.W., FRÖHLICH, PH. (2002). *Development of car-based accessibility in Switzerland from 1950 to 2000: First results*. Conference Paper STRC 2002, Monte Verita/Ascona.
- BANISTER, D. (1998). "Equity Issues in Transport - Some Thoughts". *Possum Paper 47A, 01-98, University College London*.
- BEN-AKIVA, M., LERMAN, S.R. (1979). "Disaggregate travel and mobility choice models and measures of accessibility". In D.A. Hensher and P.R. Sopher (eds.), *Behavioural Travel Modelling*. London, Croom Helm, pp. 654-679.
- BERGE, C. (1958). *Théorie des Graphes et ses applications*. Paris, Dunod.
- BEWLEY, R., FIEBIG, D.G. (1988). "A flexible logistic growth model with applications to telecommunications". *International Journal of Forecasting*, vol. 4, pp. 177-192.
- BLACK, J., CONROY, M. (1977). "Accessibility measures and the social evaluation of urban structure". *Environment and Planning A*, vol. 9, pp. 1013-1031.
- BLACK, J., KURANAMI, C., RIMMER, P.J. (1982). "Macroaccessibility and Mesoaccessibility: a Case Study of Sapporo, Japan". *Environment and Planning A*, vol. 14, pp. 1355-1376.
- BORGERS, A., TIMMERMANS, H.J.P. (1993). "Transport facilities and residential choice behavior: a model of multi-person choice processes". *Papers in regional science*, vol. 72, n° 1, pp. 45-61.
- BREHENY, M.J. (1978). "The measurement of spatial opportunity in strategic planning". *Regional Studies*, vol. 12, pp. 463-479.
- BRUINSMA, F.R. (1994). *De invloed van Transportinfrastructuur op Ruimtelijke Patronen van Economische Activiteiten*. PhD-thesis, Dept. of Economics, Free University, Netherlands Geographic Studies (NGS), Amsterdam.
- BRUINSMA, F., RIETVELD, P. (1993). "Urban Agglomerations in European Infrastructure Networks". *Urban Studies*, vol. 30, n° 6, pp. 919-934.
- BRUINSMA, F., PEPPING, G., RIETVELD, P. (1996). *Infrastructure and Urban Development: The Case of the Amsterdam Orbital Motorway*. Infrastructure and the Complexity of Economic Development, D.F. Batten and C. Karlsson, eds., Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, pp. 231-249.

- BRUINSMA, F., RIENSTRA, S.A., RIETVELD, P. (1997). "Economic impacts of the construction of a transport corridor: a multi-level and multi-approach case study for the construction of the A1 highway in the Netherlands". *Regional Studies*, vol. 31, pp. 391-402.
- BRUINSMA, F., RIETVELD, P. (1998). "The accessibility of European cities: theoretical framework and comparison of approaches". *Environment and Planning A*, vol. 30, pp. 499-521.
- BRULARD, T., CHARLIER, J. (1975). "Les courbes isochrones des transports en commun vers Louvain-la-Neuve". *Etudes de géographie des transports, Colloques Amiens – Louvain-la-Neuve, UGI*, pp. 185-193.
- BURNETT, P. (1980). "Spatial constraints-oriented modeling as an alternative approach to movement, microeconomic theory, and urban policy". *Urban Geography*, vol. 1, pp. 53-67.
- BURNS, L.D. (1979). *Transportation, temporal, and spatial components of accessibility*. Lexington, MA: Lexington Books.
- CERVERO, R., ROOD, T., APPLEYARD, B. (1997). *Job accessibility as a performance indicator: An analysis of trends and their social policy implications in the San Francisco Bay Area*. Working paper 692, University of California, Berkeley.
- CHAPIN, F.S. (1974). *Human Activity Patterns in the City*. New York, John Wiley & Sons.
- CHATELUS, G., ULIED, A. (1995). *Union Territorial Strategies linked to the Transeuropean Networks. Final Report to DGVII*. INRETS-DEST/MCRIT, Paris/Barcelona.
- CHEN, H., RUFOLO, A., DUEKER, K.J. (1998). "Measuring the impact of light rail systems on single-family home values: a hedonic approach with geographic information system application". *Transportation Research Record*, vol. 1617, pp. 38-43.
- COPUS, A.K. (1997). *A New Peripherality Index for European Regions. Report prepared for the Highlands and Islands European Partnership*. Aberdeen, Rural Policy Group, Agricultural and Rural Economics Department, Scottish Agricultural College.
- COPUS, A.K. (1999). "Peripherality and peripherality indicators". *The Journal of Nordregio*, vol. 10, n° 1, pp. 11-15.
- CHESNAIS, M. (1991). *Réseaux en évolution*. Paris, Paradigme.
- DALVI, M.Q., MARTIN, K.M. (1976). "The role of accessibility in basic transportation choice behavior". *Transportation*, vol. 5, pp. 175-198.
- DANCOISNE, P. (1984). *Théorie des Graphes et constitution du réseau ferré français*. Ph.D. thesis, Université de Paris I, UFR de Géographie.
- DIJST, M. (1995). *Het elliptisch leven; actieruimte als integrale maat voor bereik en mobiliteit- modelontwikkeling met als voorbeeld tweeverdieners met kinderen in Houten en Utrecht*. Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap/Faculteit Bouwkunde Technische Universiteit Delft, Utrecht/Delft.
- DIJST, M., VIDAČKOVIĆ, V. (1997). *Maps in Mind: Reflections on Cognitive Mapping*. New York, Harper and Row.
- DOMENCICH, T., MCFADDEN, D. (1975). *Urban travel demand: a behavioral analysis*. North-Holland, Amsterdam.
- DUPUIT, J. (1844). "De la mesure de l'utilité des travaux publics. Annales des Ponts et Chaussées". Translated by R.H. Barback (1952), "On the measurement of the utility of public works". *International Economic Papers*, vol. 17, pp. 83-110.

- DUPUY, G. (1985). *Systèmes, Réseaux et Territoires*. Paris, Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- DUPUY, G. (1991). *L'Urbanisme des réseaux*. Paris, Armand Colin.
- FOTHERINGHAM, A.S. (1982). "A new set of spatial-interaction models: the theory of competing destinations". *Environment and Planning A*, vol. 15, pp. 15-36.
- FRIEDMAN, L.S. (1984). *Microeconomic Policy Analysis*. McGraw-Hill, New York.
- FROST, M.E., SPENCE, N.A. (1995). "The rediscovery of accessibility and economic potential: the critical issue of self-potential". *Environment and Planning A*, vol. 27, pp. 1833-1948.
- FÜRST, F., HACKL, R., HOLL, A., KRAMAR, H., SCHÜRMAN, C., SPIEKERMANN, K., WEGENER, M. (1999). *The SASI Model: Model Implementation. Deliverable D11 of the EU Project Socio-Economic and Spatial Impacts of Transport Infrastructure Investments and Transport System Improvements (SASI)*. Berichte aus den Insitut für Raumplanung 49, Universität Dortmund, Insitut für Raumplanung, Dortmund.
- FÜRST, F., SCHÜRMAN, C., SPIEKERMANN, K., WEGENER, M. (2000). *The SASI Model: Demonstration Examples. Deliverable D15 of the EU Project Socio-Economic and Spatial Impacts of Transport Infrastructure Investments and Transport System Improvements (SASI)*. Berichte aus den Insitut für Raumplanung 51, Universität Dortmund, Insitut für Raumplanung, Dortmund.
- GATTUSO, D., CHINDIMI, A.A. (1998). *Misure di accessibilità per analisti di scenario applicate al transito delle merci attraverso il porto di Gioia Tauro*. Faculty of Engineering of Reggio Calabria, Reggio Calabria.
- GEERTMAN, S.C.M., RITSEMA VAN ECK, J.R. (1995). "GIS and models of accessibility potential: an application in planning". *International Journal of Geographical Information Systems*, vol. 9, n° 1, pp. 67-80.
- GEURS, K.T. (2000). *Ecological, Social and Economic Evaluation of Transport Scenarios: An Integral Approach PhD Research Programme*. RIVM report 773002 014, National Institute of Public Health and the Environment, Bilthoven.
- GOLLEDGE, R.G. (1993). "Geography and the disabled: a survey with special reference to vision impaired and blind populations". *Transactions of the Institute of British Geographers*, vol. 18, pp. 63-85.
- GOULD, P. (1969). "Spatial Diffusion". Resource Paper No. 17. Washington, DC: Association of American Geographers.
- GRASLAND, C. (1991). "Potentiel de population, interaction spatiale et frontières : des deux Allemagnes à l'unification". *L'Espace Géographique*, vol. 3, pp. 243-266.
- GRASLAND, C. (1999). *Seven Proposals for the Construction of Geographical Position Indexes*. Paris, CNRS-UMR Géographie-Cités.
- GREENE, D.L., LIU, J-T. (1988). "Automotive fuel economy improvements and consumers' surplus". *Transportation Research A*, vol. 22, n° 3, pp. 203-218.
- HÄGERSTRAND, T. (1970). "What about people in regional science ?" People of the Regional Science Association, vol. 24, pp. 7-21.
- HAGGETT, P., CHORLEY, R. (1972). *Network Analysis in Geography*. London, Edward Arnold.
- HAGOORT, M.J. (1999). *Dé bereikbaarheid bestaat niet. Definiëring en operationalisering van bereikbaarheid*. RIVM Report 715651 012, RIVM/Utrecht University, Bilthoven/Utrecht.
- HALL, R.W. (1983). "Travel Outcome and Performance: The Effect of Uncertainty on Accessibility". *Transportation Research B*, pp. 275-290.
- HANDY, S.L. (1994). "Regional versus local accessibility: Implications for Nonwork Travel". *Transportation Research Record*, vol. 1400, pp. 58-66.

- HANDY, S.L., NIEMEIER, D.A. (1997). "Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives". *Environment and Planning A*, vol. 29, pp. 1175-1194.
- HANSEN, W.G. (1959). "How accessibility shapes land use". *Journal of American Institute of Planners*, vol. 25, n° 1, pp. 73-76.
- HANSON, S., SCHWAB, M. (1987). "Accessibility and Intraurban Travel". *Environment and Planning A*, vol. 19, pp. 735-748.
- HARRIS, C.D. (1954). "The market as a factor in the localisation of industry in the United States". *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 44, pp. 315-348 (cited in Gutiérrez and Gomez, 1999).
- HILBERS, H.D., VERROEN, E.J. (1993). *Het beoordelen van de bereikbaarheid van lokaties. Definiëring, maatstaven, toepassing en beleidsimplicaties*. INRO-VVG 1993-09, TNO Inro, Delft.
- HUIGEN, P.P.P. (1986). *Binnen of buiten bereik? een sociaal-geografisch onderzoek in Zuidwest-Friesland*. University Utrecht, Utrecht.
- HSU, C-I., HSIEH, Y.P. (1997). "Travel and Activity Choices Based on an Individual Accessibility Model". *36th Annual Meeting of the Western Regional Science Organisation*, February 23-27, Hawaii.
- INGRAM, D.R. (1971). "The Concept of Accessibility: A Search for an Operational Form". *Regional Studies*, vol. 5, pp. 101-107.
- JOSEPH, A.E., BANTOCK, P.R. (1982). "Measuring potential physical accessibility to general practitioners in rural areas: a method and case study". *Social science and Medicine*, vol. 16, pp. 85-90.
- JOSEPH, A.E., PHILIPS, D.R. (1984). *Accessibility measures: a literature review*. TRRL Report 967, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire.
- JOURQUIN, B. (1995). *Un outil d'analyse économique des transports de marchandises sur des réseaux multi-modaux et multi-produits: Le réseau virtuel, concepts, méthodes et applications*. Ph.D. thesis, Facultés Universitaires Catholiques de Mons (FUCAM).
- JOURQUIN, B., BEUTHE, M. (1996). "Transportation policy analysis with a geographic information system: the virtual network of freight transportation in Europe". *Transportation Research Part C*, vol. 4, n° 6, pp. 359-371.
- KALISVAART, B. (1998). *Geografie en Zorg. Een onderzoek naar ruimtelijke methoden en technieken om de bereikbaarheid van gezondheidszorg te presenteren (Geography on health care. Research on spatial methodologies and techniques to present the accessibility of health services)*. Universiteit Utrecht/RIVM, Utrecht/Bilthoven.
- KANDEL, E., POORT, J.P. (2000). *Verdelingsaspecten van grote infrastructuurprojecten. Onderzoeksprogramma Economische Effecten Infrastructuur (Cluster B, deelrapport B2)*. Nyfer Forum for Economic Research, Breukelen.
- KANSKY, K.J. (1963). *Structure of transportation networks*. University of Chicago, Department of Geography.
- KEEBLE, D., OFFORT, J., WALKER, S. (1988). *Peripheral Regions in a Community of Twelve Member States*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- KEEBLE, D., OWENS, P.L., THOMPSON, C. (1981). "Regional Accessibility and Economic Potential in the European Community". *Regional Studies*, vol. 16, n° 6, pp. 419-432.
- KNOX, P.L. (1978). "The intraurban ecology of primary medical care: patterns of accessibility and their policy implications". *Environment and Planning A*, vol. 10, pp. 415-435.

- KOCKELMAN, K.M. (1997). "Effects of location elements on home purchase prices and rents in San Francisco Bay Area". *Transportation Research Record*, vol. 1606, pp. 40-50.
- KOCKELMAN, K.M. (1997). "Travel behavior as function of accessibility, land use mixing, and land use balance: evidence from San Francisco Bay Area". *Transportation Research Record*, vol. 1607, pp. 116-125.
- KOENIG, J.G. (1980). "Indicators of Urban Accessibility: Theory and Applications". *Transportation*, vol. 9, pp. 145-172.
- KRUGMAN, P. (1991). "Increasing returns and economic geography". *Journal of Political Economy*, vol. 99, n° 3, pp. 483-499.
- KUNTZMANN, J. (1972). *Théorie des réseaux – Graphes*. Paris, Dunod.
- KWAN, M.P., HONG, X.D. (1998). "Network-based constraints-oriented choice set formation using GIS". *Geographical Systems*, vol. 5, pp. 139-162.
- LANDAU, U., PRASHKER, J.N., ALPERN, B. (1982). "Evaluation of activity constrained choice sets to shopping destination choice modelling". *Transportation Research A*, vol. 16, n° 3, pp. 199-207.
- LENNTORP, B. (1976). *Paths in space-time environments: a time-geography study of movement possibilities of individuals*. 44, Lund.
- LENNTORP, B. (1978). *A time-geographic simulation model of individual activity programmes*. Human Activity and Time Geography, T. Carlstein, D. Parkes, and N. Thrift, eds., Edward Arnold, London, pp. 162-180.
- LEONARDI, G. (1978). "Optimum facility location by accessibility maximising". *Environment and Planning A*, vol. 10, pp. 1287-1305.
- LEONARDI, G., TADEI, R. (1984). "Random utility demand models and service location". *Regional Science and Urban Economics*, pp. 399-431.
- LEVINSON, D.M. (1998). "Accessibility and the journey to work". *Journal of Transport Geography*, vol. 6, n° 1, pp. 1-21.
- LICHFIELD, N., KETTLE, P., WHITBREAD, M. (1975). *Evaluation in the planning process*. Pergamon Press, Oxford, UK.
- LINNEKER, B.J., SPENCE, N.A. (1992). "Accessibility measures compared in an analysis of the impact of the M25 London Orbital Motorway on Britain". *Environment and Planning A*, vol. 24, pp. 1137-1154.
- LUIS, H. (2002). "Temporal accessibility in archipelagos: inter-island shipping in the Canary Islands". *Journal of Transport Geography*, vol. 10, n° 3, pp. 231-239.
- LUTTER, H., PÜTZ, T., SPANGENBERG, M. (1992). *Accessibility and Peripherality of Community Regions: The Role of Road, Long-Distance Railways and Airport Networks*. Report to the European Commission, DG XVI, Bonn, Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung.
- LUTTER, H., PÜTZ, T., SPANGENBERG, M. (1993). *Lage und Erreichbarkeit der Regionen in der EG und der Einfluss der Fernverkehrssysteme*. Forschungen zur Raumentwicklung Band 23, Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Bonn.
- MARSHALL, A. (1920). *Principles of economics, 8th edition*. MacMillian, London.
- MARTELLATO, D., NIJKAMP, P., REGGIANI, A. (1995). *Measurement and Measures of Network Accessibility*. TI 5-95-207, Tinbergen Institute, Amsterdam.
- MARTÍNEZ, F.J. (1995). "Access: the transport-land use economic link". *Transportation Research B*, vol. 29, n° 6, pp. 457-470.
- MARTÍNEZ, F.J., ARAYA, C. (2000). "Note on trip benefits in spatial interaction models". *Journal of Regional Science*, vol. 40, n° 4, pp. 789-796.

- MATHIS, P. (2000). *Cities and corridors: spatial heterogeneity. Study Programme on European Spatial Planning, Working Group 1.1. Geographical Position. Final Report. Part II.* CES Université de Tours, Tours.
- MÉRENNE, E. (1995). *Géographie des transports.* Paris, Nathan.
- MILLER, H.J. (1991). "Modelling accessibility using space-time prism concepts within Geographical Information Systems". *International Journal of Geographical Systems*, vol. 5, n° 3, pp. 287-301.
- MILLER, H.J. (1999). "Measuring Space-Time Accessibility Benefits within Transportation networks: Basic Theory and Computational Procedures". *Geographical analysis*, vol. 31, n° 2, pp. 187-212.
- MORRIS, J.M., DUMBLE, P.L., WIGAN, M.R. (1979). "Accessibility indicators for transportation planning". *Transportation Research A*, vol. 13, pp. 91-109.
- NEUBURGER, H. (1971). "User benefits in the evaluation of transport and land-use plans". *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 5, n° 1, pp. 52-75.
- NIEMEIER, D.A. (1997). "Accessibility: an evaluation using consumer welfare". *Transportation*, vol. 24, pp. 377-396.
- NSS (1991). *Eisen aan de bedrijfsomgeving in de Randstad.* NSS Beleidsonderzoek en Advies, Den Haag.
- OBERG, S. (1976). *Methods of Describing Physical Access to Supply Points.* Lund Studies in Geography B. Gleerup, Lund.
- ODOKI, J.B., KERALI, H.R., SANTORINI, F. (2001). "An integrated model for quantifying accessibility-benefits in developing countries". *Transportation Research Part A*, vol. 35, n° 7, pp. 601-623.
- OFFNER, J-M. (1993). "Les « effets structurant » du transport : mythe politique, mystification scientifique". *L'espace Géographique*, vol. 3, pp. 233-242.
- PEARCE, D.W., TURNER, R.K. (1990). *Economics of natural resources and the environment.* Wheatsheaf Harvester, London.
- PELLENBARG, P. (1985). *Bedrijfslokatie en ruimtelijke cognitie (Firm locations and spatial cognition).* Rijksuniversiteit Groningen, Groningen.
- PERRELS, A.H., HILBERS, H., GROOTHEDDE, B., RASPE, O., BRUINSMA, F., BRONS, M., RIETVELD, P. (1999). *Internationale Benchmarks voor Prestatievergelijking Infrastructuur. Onderzoeksprogramma Economische Effecten Infrastructuur (Cluster A, deelstudie A2-1).* TNO Inro/Vrije Universiteit Amsterdam, Delft/Amsterdam.
- PIRIE, G.H. (1979). "Measuring accessibility: a review and proposal". *Environment and Planning A*, vol 11, pp. 299-312.
- POLZIN, S.E. (1999). "Transportation/land use relationship: public transit's impact of land use". *Journal of Urban Planning and Development*, vol. 125, n° 4, pp. 135-151.
- PRUD'HOMME, R., LEE, C.W. (1999). "Size, Sprawl, Speed and the Efficiency of Cities". *Urban studies*, vol. 36, n° 11, pp. 1849-1858.
- RAWLS, J.A. (1971). *A theory of justice.* Harvard University Press, Cambridge, USA.
- RICH, D.C. (1979). "Population potential, potential transportation and industrial location". *Area*, vol. 10, pp. 222-226.
- RIETVELD, P., BRUINSMA, F. (1998). *Is transport infrastructure effective? Transport infrastructure and Accessibility: Impacts on the Space Economy.* Springer Verlag, Berlin.
- ROY, B. (1970). *Algèbre moderne et Théorie des Graphes.* Paris, Dunod.
- SCHEIDER, J.B., BECK, J.R. (1974). "Reducing the travel requirements of the American city: an investigation of alternative spatial structures". *Transportation Research Record*, vol. 499, pp. 12-33.
- SCHÜRMAN, C., SPIEKERMANN, K., WEGENER, M. (1997). *Accessibility Indicators.* Deliverable D5 of the EU Project Socio-Economic and Spatial Impacts of Transport

- Infrastructure Investments and Transport System Improvements (SASI). Universität Dortmund, Institut für Raumplanung, Dortmund.
- SCHÜRMAN, C., TALAAT, A. (2000). *Towards an European Peripherality Index*. Report for General Directorate XVI Regional Policy of the European Commission. Universität Dortmund, Institut für Raumplanung, Dortmund.
 - SHEN, Q. (1998). "Location characteristics of inner-city neighborhoods and employment accessibility of low-wage workers". *Environment and Planning B: planning & design.*, vol. 25, n° 3, pp. 345-365.
 - SHERMAN, L., BARBER, B., KONDO, W. (1974). "Method for evaluating metropolitan accessibility". *Highway Research Record*, vol. 499, pp. 70-82.
 - SIMMONDS, D., JENKINSON, N. (1993). "Regional Economic Impacts of the Channel Tunnel". *PTRC Summer Annual Meeting, Proceedings of Seminar A*, Manchester, PTRC, London, pp. 191-204.
 - SMALL, K. (1992). *Urban Transportation Economics*. University of Toronto Press, Toronto, Ontario.
 - SMITS, C.A., KORVER, W. (1993). *Hoofdinfrastructuur en effecten op woonlocatieproces van huishoudens. Deel I: Inventarisatie van bestaande kennis*. TNO Inro, Delft.
 - SONG, S. (1996). "Some Tests of Alternative Accessibility Measures: A Population Density Approach". *Land Economics*, vol. 72, n° 4, pp. 474-482.
 - SONESSON (1998). *Estimering av efterfragan pa langvaga persontransporter: En ekonomisk-teoretisk belysning av gangse modeller samt en ny ansats till uppskattning av efterfragesamband*. Linköping Studies in Management and Economics, Dissertations n° 36, University of Linköping, Swedish.
 - SPENCE, N., LINNEKER, B. (1994). "Evolution of the motorway network and changing levels of accessibility in Great Britain". *Journal of Transport Geography*, vol. 2, n° 4, pp. 247-264.
 - SPIEKERMANN, K., WEGENER, M. (1994). "The shrinking continent: new time-space maps of Europe". *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 21, pp. 653-673.
 - SPIEKERMANN, K., WEGENER, M. (1996). "Trans-European networks and unequal accessibility in Europe". *European journal of regional development* (4/96).
 - SPIEKERMANN, K., GRIMM, J., SCHÜRMAN, C. (2001). *Transport Systems and Accessibility*. Study for the INTERREG IIc GEMACA II (Group for European Urban Areas Comparative Analysis). Dortmund: S&W, IRPUD.
 - SPIEKERMANN, K., WEGENER, M., COPUS, A. (2002). *Review of Peripherality Indices and Identification of 'Baseline Indicator'*. Deliverable 1 of AsPIRE – Aspatial Peripherality, Innovation, and the Rural Economy. Dortmund/Aberdeen: S&W, IRPUD, SAC.
 - STEWART, J.Q. (1947). "Empirical mathematical rules concerning the distribution and equilibrium of population". *Geographical Review*, vol. 37, pp. 461-485.
 - STEWART, J.Q. (1948). "Demographic Gravitation: Evidence and Application". *Sociometry*, vol. 11, n° 1-2, pp. 31-58.
 - SWEDISH NATIONAL ROAD ADMINISTRATION (1998). Utveckling av mått för tillgänglighet. Information från Enheten för planering av vägtransportsystemet 1998-03-23, beteckning PP10A98:632 (in Swedish).
 - SWEET, R.J. (1997). "An aggregate measure of travel utility". *Transportation Research Part B*, vol. 31, n° 5, pp. 403-416.
 - TAAFFE, E.J., GAUTHIER, H.L., O'KELLY, M.E. (1996). *Geography of Transportation*. Upper Saddle River, Prentice Hall.

- TALEN, E., ANSELIN, L. (1998). "Assessing spatial equity: an evaluation of measures of accessibility to public playgrounds". *Environment and Planning A*, vol. 30, pp. 595-613.
- TAVASSZY, L.A. (1997). *SMILE: Strategisch Model Integrale Logistiek en Evaluatie*. TNO Inro, Delft.
- TOLLEY, R.S., TURTON, B.J. (1995). *Transport Systems, Policy and Planning: A Geographical Approach*. Longman Scientific & Technical, Essex, UK.
- TÖRNQVIST, G. (1970). *Contact systems and regional development*. C.W.K. Gleerop, Lund.
- VANDERSCHUREN, M.J.W.A., KORVER, W., I.R. WILMINK (1996). *Hoofdinfrastructuur en effecten op woonlocatieproces van huishoudens. Deel 3: Het stated preference experiment*. TNO Inro, Delft.
- VAN HAM, M., HOOIMEIJER, P., MULDER, C.H. (2001). "Urban form and job access: disparate realities in the Randstad". *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, vol. 92, n° 2, pp. 231-246.
- VICKERMAN, R.W. (1974). "Accessibility, attraction, and potential: a review of some concepts and their use in determining mobility". *Environment and Planning A*, vol. 6, pp. 675-691.
- VISSER, J.G.S.N., MAAT, C. (1994). "Het meten van bereikbaarheid in relatie tot stedelijk goederenvervoer". *Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 1994. Implementatie van beleid: de moeizame weg van voornemen naar actie, 24-25 november 1994*, pp. 1287-1306.
- VLEK, C., STEG, L. (1996). "Societal Reasons, Conditions and Policy Strategies for Reducing the Use of Motor Vehicles". *Towards sustainable transportation*, Vancouver, Canada, March 24-27.
- WACHS, M., KUMAGAI, T.G. (1973). "Physical accessibility as a social indicator". *Socio-Economic Planning Science*, vol. 6, pp. 357-379.
- WAGTENDONK, A., RIETVELD, P. (2000). *Ruimtelijke ontwikkelingen woningbouw Nederland 1980-1995. Een historisch-kwantitatieve analyse van de ruimtelijke ontwikkelingen in de woningbouw 1980-1995 ten ondersteuning van de Omgevings-effectrapportage Vijfde Nota Ruimtelijke Ordening*. Free University Amsterdam, Amsterdam.
- WEGENER, M., ESKELINEN, H., FÜRST, F., SCHÜRMAN, C., SPIEKERMANN, K. (2000). *Indicators of Geographical Position*. Final Report of the Working Group "Geographical Position" of the Study Programme on European Spatial Planning. Dortmund, IRPUD.
- WEGENER, M., ESKELINEN, H., FÜRST, F., SCHÜRMAN, C., SPIEKERMANN, K. (2002). *Criteria for the Spatial Differentiation of the EU Territory: Geographical Position*. Forschungen 102.2, Bonn, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.
- WEIBULL, J.W. (1976). "An axiomatic approach to the measurement of accessibility". *Regional Science and Urban Economics*, vol. 6, pp. 357-379.
- WEISBROD, B. (1964). "Collective Consumption Services of Individual Consumption Goods". *Quarterly Journal of Economics*, vol. 78, pp. 471-477.
- WILLIAMS, H.C.W.L. (1977). *The generation of consistent travel-demand models and user-benefit measures*. Urban Transportation and Planning, P.W. Bonsall, P.J. Hills, and M.W. Dalvi, eds., Abacus Press, Tunbridge Wells, pp. 161-176.
- WILSON, A.G. (1971). "A family of spatial interaction models, and associated developments". *Environment and Planning 3*, pp. 1-32.

- WILSON, A.G. (1976). *Retailers' Profit and Consumers' Welfare in Spatial Interaction Models*. Theory and Practice in Regional Science, I. Hasser, ed., Pion, London, pp. 42-59.
- WILSON, A.G. (1982). *Transport Location and Spatial Systems*. LS2 9JT, University of Leeds, Leeds.
- WYATT, P.J. (1997). "The development of a GIS-based Property Information System for Real Estate Valuation". *International Journal of Geographical Information Systems*, vol. 11, n° 5, pp. 435-450.

Références bibliographiques (partie III du rapport)

- ARNOLD, P., SANDRAPS, S. (1998). "Réseau ferroviaire et accessibilité en Wallonie: Structure spatiale et structure fonctionnelle". *Acta Geographica Lovaniensia*, n°37, pp. 417-429.
- CHESNAIS M. (1991). *Réseaux en évolution : représentation systémique des réseaux dans leur environnement*. Paradigme, Caen.
- CONFÉRENCE PERMANENTE DU DÉVELOPPEMENT TERRITORIAL (CPDT) (2005). *Protocole de Kyoto : aménagement du territoire, mobilité et urbanisme. Mesures pour faciliter l'adhésion de la Région wallonne au Protocole de Kyoto et pour limiter les émissions de gaz à effet de serre*. Namur, Ministère de la Région wallonne, 203 pages.
- CUSHMAN & WAKEFIELD HEALEY & BAKER (2003). *European Distribution Report*. Available from < <http://www.cushmanwakefield.com/cwglobal/jsp/publication.jsp>>
- CHARLIER J., CHARLIER-VANDERSCHRAEGE D., DE KONINCK R., DORVAL G. (2004). *Le Grand Atlas*. Bruxelles, De Boeck, 2004, 11^{ème} édition, 218 pages.
- ENAULT, C. (2005). "Les vitesses dans l'aire urbaine dijonnaise : un modèle fondé sur la fonction logistique et la courbe de congestion routière débit-vitesse". *Cybergéo: Revue européenne de géographie*, n° 329.
- DRAKE, J.S., SCHOFER, J.L., MAY, A.D. (1967). *A statistical analysis of speed density hypotheses*. Technical report, Highway Research Board.
- GREENSHIELDS, B.D. (1935). "A study of traffic capacity". *Highway Research Board*, vol. 14, pp. 448-477.
- HALL, F.L., HURDE, V.F., BANKS, J.H. (1992). "Synthesis of recent work on the nature of speed-flow and flow-density relationships on freeways". *Transportation Research Records*, vol. 1365, pp. 12-18.
- MÉRENNE B., VAN DER HAEGEN H., VAN HECKE E. (1997). "La Belgique : Diversité territoriale". *Bulletin du Crédit Communal*, n° 202, 1997/4.
- MINISTÈRE WALLON DE L'ÉQUIPEMENT ET DES TRANSPORTS (2004). *Plan intercommunal de mobilité : Beauvechain, Chaumont-Gistoux, Grez-Doiceau, Incourt*. Mars 2004. Adresse URL : <http://mobilite.wallonie.be/pcm/index.html>
- N'DIAYE, A.B. (2006). *Cours de modélisation en transports*. CIEM, Bruxelles.

- NEWMAN P.W., KENWORTHY J.R. (1991). “Transport and urban form in thirty of the world’s principal cities”, *Transport Review*, n° 3, pp. 249-272.
- PSAR ANALYSE TERRITORIALE (2006). *Distanciers – AT30*. Rapport au bureau du COPAR, Juillet 2006.
- SERVICES FEDERAUX DES AFFAIRES SCIENTIFIQUES, TECHNIQUES ET CULTURELLES, SSTC (2001). *Enquête nationale sur la mobilité des ménages : Réalisations et résultats. Rapport final*. Contract MD/13/036, FUNDP-GRT-LV-UIA-IW-INS.
- SERVICE PUBLIC FEDERAL MOBILITE ET TRANSPORTS (2004). *Recensement de la circulation 2004*. Bruxelles, Service Public Fédéral Mobilité et Transports, 110 pages. Adresse URL : <http://www.mobilite.fgov.be/fr/index.htm>
- SOCIETE NATIONALE DES CHEMINS DE FER BELGES (2004). *Comptages Voyageurs 2004 : Collection de statistiques*. Bruxelles, SNCB, 62 pages.
- SPIEKERMANN, K., NEUBAUER, J. (2002). *European Accessibility and Peripherality: Concepts, Models and Indicators*. Report 2002:9. Stockholm: Nordregio.
- VAN DEYNZE, L. (2001). *L’accessibilité ferroviaire en Belgique : Les planifications IC/IR successives de la SNCB*. Thesis presented to get the academic rank of bachelor in geographical sciences (Université Catholique de Louvain-la-Neuve/UCL), Louvain-la-Neuve, 120 pages.
- VAN HECKE, E. (1998). “Actualisering van de stedelijke hiërarchie in België”. *Tijdschrift van het Gemeentekrediet van België*, 52^{ste} jaar, n° 205, 1998/3, pp. 45-76.

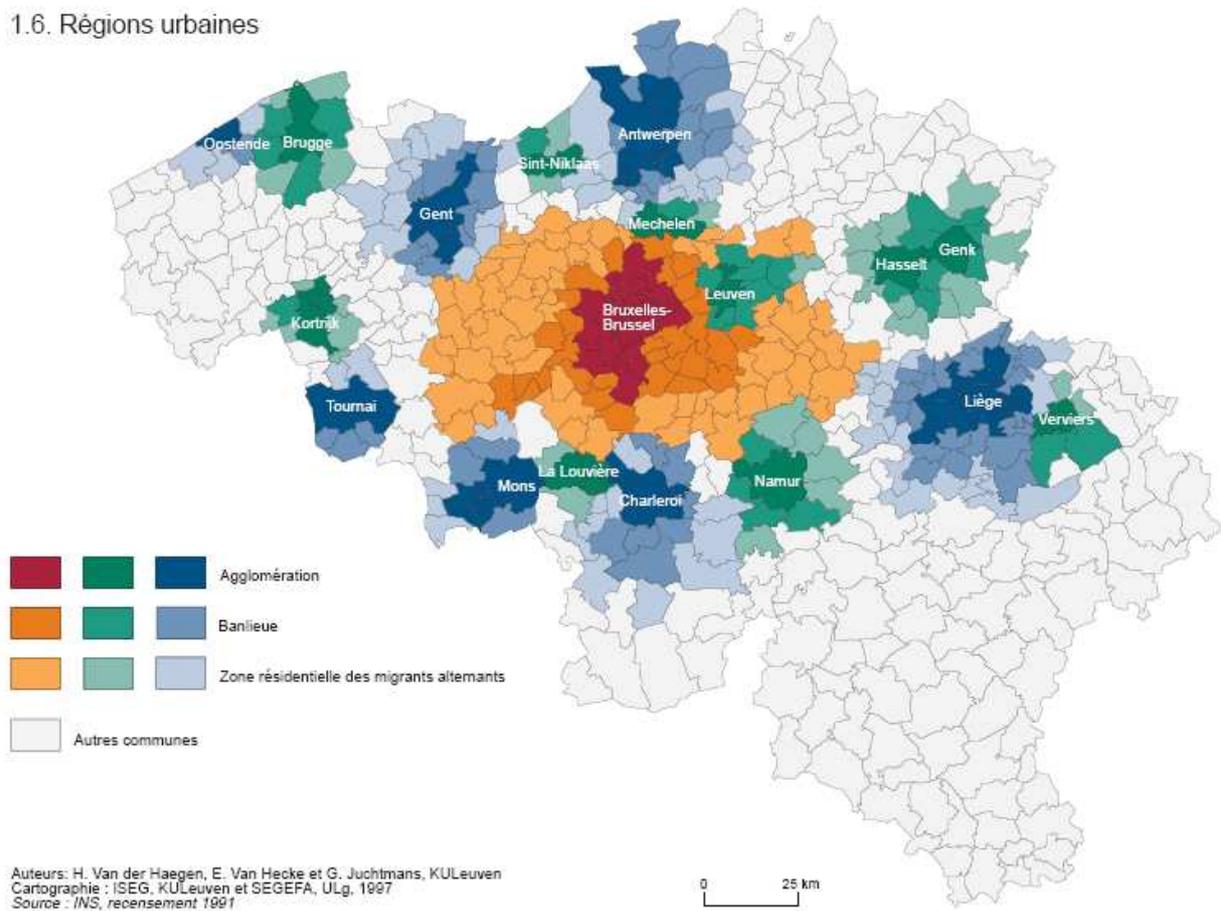
Références bibliographiques (partie IV du rapport)

- THOMAS, I., HERMIA, J-P., VANELSLANDER, T., VERHETSEL, A. (2003). “Accessibility to Freight Transport Networks in Belgium: A geographical approach”. *Journal of Economic and Social Geography*, vol. 94, n° 4, pp. 424-438.

Appendices

Annexe 1 : Cartographie des principales régions urbaines belges (Mérenne, Van der Haegen & Van Hecke, 1998)

1.6. Régions urbaines



Annexe 2 : Classement des gares IC en fonction de la valeur des résidus (RANG Résidus) et en fonction de l'accessibilité temporelle (RANG Shimmel Temps) et kilométrique (RANG Shimmel Distance)

Nom des gares	RANG Shimmel Temps	RANG Shimmel Distance	RANG Résidus
<i>Bruxelles-Nord</i>	1	2	6
<i>Bruxelles-Midi</i>	2	4	4
<i>Bruxelles-Central</i>	3	3	7
<i>Schaerbeek</i>	4	1	21
<i>Bruxelles-Schuman</i>	5	5	38
<i>Louvain</i>	6	11	16
<i>Malines</i>	7	10	23
<i>Bruxelles-Luxembourg</i>	8	6	43
<i>Denderleeuw</i>	9	9	28
<i>Gand-St-Pierre</i>	10	24	5
<i>Vilvorde</i>	11	7	45
<i>Liedekerke</i>	12	8	53
<i>Braine-l'Alleud</i>	13	19	29
<i>Anvers-Berchem</i>	14	30	10
<i>Termonde</i>	15	14	48
<i>Tirlemont</i>	16	25	27
<i>Braine-le-Comte</i>	17	20	42
<i>Alost</i>	18	12	73
<i>Ottignies</i>	19	13	65
<i>Gand-Dampoort</i>	20	26	36
<i>Anvers-Central</i>	21	37	24
<i>Wetteren</i>	22	18	56
<i>Zottegem</i>	23	16	60
<i>Liège-Guillemins</i>	24	74	1
<i>Lede</i>	25	15	82
<i>Enghien</i>	26	17	69
<i>Landen</i>	27	41	32
<i>Soignies</i>	28	28	51
<i>Aarschot</i>	29	23	57
<i>Luttre</i>	30	33	44
<i>Mons</i>	31	44	31
<i>Charleroi-Sud</i>	32	40	40
<i>Lokeren</i>	33	27	58
<i>Namur</i>	34	42	41
<i>Courtrai</i>	35	56	8
<i>Gembloux</i>	36	22	74
<i>Saint-Nicolas</i>	37	36	52
<i>Anvers-Sud</i>	38	32	59
<i>La Louvière-Sud</i>	39	39	62
<i>Ath</i>	40	31	86
<i>Ans</i>	41	69	9
<i>Bruges</i>	42	84	3
<i>Tournai</i>	43	60	17
<i>Waremmes</i>	44	52	35

<i>Aalter</i>	45	55	26
<i>Audenarde</i>	46	35	81
<i>Langdorp</i>	47	29	92
<i>Tamines</i>	48	45	68
<i>Liège-Jonfosse</i>	49	73	11
<i>Zelee</i>	50	21	98
<i>Jemappes</i>	51	47	70
<i>Liège-Palais</i>	52	76	14
<i>Mouscron</i>	53	72	18
<i>Leuze</i>	54	48	78
<i>Diest</i>	55	46	83
<i>Quaregnon</i>	56	49	75
<i>Saint-Ghislain</i>	57	50	71
<i>Belsele</i>	58	38	97
<i>Sinaai</i>	59	34	99
<i>Herstal</i>	60	79	20
<i>Zichem</i>	61	43	96
<i>Herseaux</i>	62	75	39
<i>Saint-Trond</i>	63	53	88
<i>Bissegem</i>	64	61	63
<i>Huy</i>	65	66	54
<i>Froyennes</i>	66	63	61
<i>Hasselt</i>	67	59	77
<i>Torhout</i>	68	90	12
<i>Wevelgem</i>	69	70	64
<i>Milmort</i>	70	85	33
<i>Boussu</i>	71	51	106
<i>Andenne</i>	72	57	90
<i>Flémalle-Haute</i>	73	81	49
<i>Izegem</i>	74	82	47
<i>Statte</i>	75	64	84
<i>Liers</i>	76	87	37
<i>Roulers</i>	77	89	34
<i>Alken</i>	78	62	91
<i>Hainin</i>	79	54	100
<i>Menin</i>	80	78	67
<i>Ostende</i>	81	100	2
<i>Diepenbeek</i>	82	68	95
<i>Wervik</i>	83	86	66
<i>Thulin</i>	84	58	101
<i>Ciney</i>	85	83	87
<i>Blankenberge</i>	86	93	22
<i>Bilzen</i>	87	77	94
<i>Heist</i>	88	95	13
<i>Verviers-Central</i>	89	94	30
<i>Kiewit</i>	90	65	102
<i>Duinbergen</i>	91	97	19
<i>Comines</i>	92	91	80
<i>Tongres</i>	93	88	93

<i>Quiévrain</i>	94	67	103
<i>Knokke</i>	95	99	25
<i>Bokrijk</i>	96	71	104
<i>Marloie</i>	97	92	76
<i>Genk</i>	98	80	105
<i>Ypres</i>	99	96	72
<i>Jemelle</i>	100	98	85
<i>Welkenraedt</i>	101	101	46
<i>Poperinge</i>	102	102	79
<i>Eupen</i>	103	103	89
<i>Libramont</i>	104	104	55
<i>Marbehan</i>	105	105	50
<i>Arlon</i>	106	106	15

Annexe 3 : Classement des stations de métro en fonction de la valeur des résidus (RANG Résidus)

Station de métro	Résidus "vers"	Station de métro	Résidus "au départ"
Stockel	-2,585	Arts-Loi	-3,056
Arts-Loi	-1,817	Stockel	-2,101
Crainhem	-1,465	Hermann-Debroux	-1,955
Hermann-Debroux	-1,385	Demey	-1,572
Alma	-1,277	Beekkant	-0,985
Vanderveelde	-1,195	Crainhem	-0,975
Demey	-1,031	Merode	-0,900
Erasme	-0,903	De Brouckère	-0,887
Beekkant	-0,811	Maelbeek	-0,865
De Brouckère	-0,746	Erasme	-0,860
Merode	-0,736	Parc	-0,825
Maelbeek	-0,682	Gare Centrale	-0,814
Gare Centrale	-0,675	Schuman	-0,805
Parc	-0,669	Etangs Noirs	-0,805
Etangs Noirs	-0,649	Alma	-0,799
Schuman	-0,633	Petillon	-0,749
Comté de Flandre	-0,575	Vanderveelde	-0,731
Tomberg	-0,541	Comté de Flandre	-0,716
Sainte-Catherine	-0,537	Beaulieu	-0,634
Bizet	-0,529	Sainte-Catherine	-0,627
Porte de Namur	-0,422	Bizet	-0,556
Roodebeek	-0,389	Thieffry	-0,425
Josephine-Charlotte	-0,385	Hankar	-0,384
Madou	-0,356	Veeweyde	-0,313
Trône	-0,351	Aumale	-0,205
Veeweyde	-0,290	Porte de Namur	-0,197
Gribaumont	-0,257	Simonis	-0,158
Petillon	-0,221	Trône	-0,133
Simonis	-0,202	Madou	-0,046
Beaulieu	-0,166	Delta	-0,041
Montgomery	-0,157	C.E.R.I.A.	-0,006
Aumale	-0,154	Jacques Brel	0,041
C.E.R.I.A.	-0,058	Tomberg	0,073
Botanique	-0,040	Roodebeek	0,105
Jacques Brel	0,086	Saint-Guidon	0,120
Hankar	0,090	Josephine-Charlotte	0,215
Thieffry	0,091	Gare de l'Ouest	0,234
Saint-Guidon	0,125	Montgomery	0,310
Louise	0,156	Gribaumont	0,365
Hôtel des Monnaies	0,161	La Roue	0,404
Porte de Hal	0,208	Louise	0,449
Gare de l'Ouest	0,276	Hôtel des Monnaies	0,468
La Roue	0,337	Porte de Hal	0,533
Delta	0,396	Eddy Merckx	0,627
Eddy Merckx	0,500	Roi-Baudouin	0,721
Clémenceau	0,571	Botanique	0,924
Yser	0,745	Clémenceau	0,973
Ribaucourt	0,754	Yser	1,025

<i>Rogier</i>	0,792	<i>Ribaucourt</i>	1,053
<i>Delacroix</i>	0,887	<i>Rogier</i>	1,060
<i>Roi-Baudouin</i>	1,189	<i>Heysel</i>	1,121
<i>Gare du Midi</i>	1,203	<i>Delacroix</i>	1,356
<i>Heysel</i>	1,581	<i>Houba-Brugmann</i>	1,459
<i>Osseghem</i>	1,857	<i>Bockstael</i>	1,495
<i>Houba-Brugmann</i>	1,931	<i>Osseghem</i>	1,556
<i>Bockstael</i>	2,007	<i>Gare du Midi</i>	1,654
<i>Stuyvenbergh</i>	2,143	<i>Stuyvenbergh</i>	1,663
<i>Belgica</i>	2,232	<i>Belgica</i>	1,682
<i>Pannenhuis</i>	2,650	<i>Pannenhuis</i>	2,136

Annexe 4 : Coût global occasionné par l'utilisation journalière de la voiture

1. Données utilisées

Les différentes données **utilisées** dans cette analyse sont les suivantes :

- Calculateur du prix de revient kilométrique de la voiture. Sources : Site Internet du Moniteur Automobile : <http://www.moniteurautomobile.be/>
- Supports cartographiques des différentes limites administratives du territoire belge (arrondissements, communes, anciennes communes, secteurs statistiques). Source : IGN.

2. Méthodologie et différentes étapes du travail

Avant d'aborder la méthodologie, il convient à nouveau de donner les informations suivantes:

- **Aire d'étude** : Provinces du Brabant Wallon et du Brabant Flamand, et Région de Bruxelles-Capitale.
- **Echelle d'analyse** : INS 6 (anciennes communes, datant d'avant la fusion de 1977)
- **Logiciel informatique** utilisé : ArcGIS 9.1 (extension : Network Analyst)

2.1. Méthodologie et analyse des résultats

L'**objectif** est ici de construire une mesure de l'accessibilité exprimée en valeurs monétaires. A titre exemplatif, nous nous intéresserons au **coût total réel** (aussi appelé « coût monétaire global ») **occasionné par l'utilisation journalière de la voiture** pour se déplacer d'un lieu i (origine) vers une destination j (destination). Le choix de la voiture n'est pas aléatoire puisqu'il n'est pas rare que les automobilistes sous-estiment le coût total réel de leur voiture. L'intérêt de calculer l'accessibilité en valeur monétaire peut donc être de **sensibiliser l'automobiliste** sur le coût réel (ou objectif) de sa voiture. La cartographie des résultats aura alors pour but de montrer le coût total réel (par jour) de la voiture lorsqu'on habite en Région bruxelloise ou dans l'une des deux provinces du Brabant.

Comme pour la mesure de l'accessibilité multimodale (section I), la destination j est la Gare centrale (à Bruxelles) alors que les origines i correspondent aux centroïdes administratifs des anciennes communes. Concernant le coût total réel de la voiture, celui-ci peut être calculé à partir du site Internet du magazine spécialisé « [Le Moniteur Automobile](#) ». La formule utilisée sur le site tient compte des **paramètres** suivants : la nombre de kilomètres faits chaque année, le nombre d'années d'utilisation de la voiture, les taxes de mise en circulation et de circulation, la consommation moyenne du véhicule, le coût du prix de l'essence, le coût de location du garage, le coût de l'assurance, le prix des pneus, les taux d'intérêts, le prix des entretiens, la dépréciation du véhicule (ainsi que sa valeur de revente), le nombre de lavages faits par mois (ainsi que le prix de ces lavages), et enfin, le coût du prix de l'huile ainsi que la contenance du réservoir d'huile. Au premier abord, la formule paraît très complète, mais elle néglige toutefois le coût du contrôle technique, des éventuels péages (tunnel de l'Escaut), ainsi que des éventuelles amendes.

Dans le cadre de notre analyse, nous avons calculé (à nouveau à titre exemplatif) le coût pour un **modèle diesel populaire**, sur base des paramètres suivants :

- Audi A4 2.0 TDi, 100 kW (modèle A4)
- Prix du litre de carburant : 1,04 euro (prix maximum le 11 décembre 2006)
- Consommation moyenne : 4,30 litres/100 km
- Kilométrage annuel : variable en fonction de l'origine (à ce sujet, nous invitons le lecteur à se référer aux explications qui suivent)
- Nombre d'années d'utilisation : 4 ans
- Prix mensuel du garage : 0 euro
- Prime annuelle d'assurance : 450 euros
- Prix du lavage : 0 euro
- Nombre de lavage par mois : 0

En analysant l'ensemble des paramètres encodés pour le calcul du coût total, on constate que nous sommes dans un **cas « optimiste »**, pour lequel l'automobiliste ne doit pas payer de coût de location pour un garage (on suppose qu'il gare sa voiture sur un parking privé, ou dans la rue) et de coût de lavage (on suppose qu'il lave sa voiture lui-même). De plus, la prime annuelle d'assurance est relativement peu élevée (on suppose que le conducteur a plus de 30 ans, qu'il dispose d'un bonus-malus très faible, et que la franchise est élevée).

Concernant le kilométrage annuel effectué par l'automobiliste, celui-ci variera en fonction de la distance entre i et j , et donc en fonction du lieu (origine i) d'où on part pour rejoindre la Gare centrale. Pour estimer le kilométrage annuel, nous avons donc mesuré (dans Network Analyst) la distance kilométrique minimum qui sépare chaque ancienne commune i de la Gare centrale j . En supposant que les **déplacements** faits en voiture sont principalement du type **domicile-travail**, la distance minimum $i-j$ est tout simplement multipliée par deux (aller-retour) pour un jour de la semaine considéré. Puisqu'il nous faut encoder le kilométrage annuel dans la formule, la distance effectuée chaque jour (distance $i-j$, multipliée par deux) est finalement multipliée par le nombre de jours par an. Les jours de week-end (samedi et dimanche) sont volontairement inclus dans le calcul afin de ne pas sous-estimer les distances réellement parcourues en voiture.

Une fois que le kilométrage annuel a été encodé pour les différentes distances $i-j$, nous obtenons un coût total réel de la voiture (Audi A4), par an et pour chaque ancienne commune i de l'aire d'étude (Région bruxelloise et Brabant). Ce coût total est minimisé, étant donné que les distances calculées dans Network Analyst sont les plus courtes entre i et j . Annuellement, nous obtenons donc une gamme de résultats qui s'étend de 5.536 euros (ancienne commune de Bruxelles) à 9.442 euros (ancienne commune de Deurne, à Diest), avec une moyenne de 7174 euros pour l'ensemble des anciennes communes (voir Carte 66). Mensuellement, cela correspond à une gamme de coûts s'étendant de 461 euros à 787 euros et, journalièrement, on arrive à des coûts qui varient de 15 à 25 euros environ. La cartographie des résultats montre ainsi que, en venant de n'importe quelle commune bruxelloise, le coût total de l'utilisation journalière de la voiture varie entre 15 et 17 euros pour rejoindre la Gare centrale (il en est d'ailleurs de même pour les communes flamandes qui sont voisines à la Région bruxelloise). Pour des communes situées dans la partie orientale des deux Brabant, ce coût s'élève même à plus de 21 euros. C'est notamment le cas pour les communes de Ramillies, Orp-Jauche, Landen, Zoutleeuw, Geetbets, ou encore Diest. Un employé habitant à Landen (par exemple) et travaillant à Bruxelles (à proximité de la Gare centrale) devrait donc déboursier près de 750 euros par mois, soit 25 % de son salaire s'il touche 3000 euros par mois.

Lorsque l'employé paye entièrement le coût de sa voiture (on ne considère pas le cas des voitures de société), l'utilisation de celle-ci revient donc très cher et il serait probablement **plus avantageux d'abandonner la voiture pour prendre les transports en commun**⁹⁴, même si le coût peut être partiellement déduit fiscalement pour un usage professionnel de la voiture. Notons encore que le coût total réel de l'utilisation de la voiture serait bien plus élevé si d'autres coûts – issus de la location d'un garage, du lavage, des éventuels péages et amendes, ou encore du contrôle technique – étaient inclus dans le calcul. Une assurance avec un bonus-malus moindre (de 6 à 10, par exemple) et une franchise plus élevée (2,5 %, par exemple) aurait également pour effet d'augmenter le coût total de la voiture. Sans compter que, si le conducteur est jeune (moins de 25 ou 30 ans), la note risque d'être encore plus salée.

3. Critique des résultats

Les **aspects positifs** associés à l'analyse du coût total réel de l'utilisation de la voiture sont les suivants :

- i. Illustrant ici le coût de l'accessibilité en voiture vers la gare centrale, les résultats pourraient être utilisés de nombreuses manières, notamment pour **informer les gens sur le coût total réel de l'utilisation de la voiture**, ou encore pour **comparer ce coût avec celui des transports en commun** (afin de favoriser le changement modal de la voiture vers les transports en commun). Afin de sensibiliser les gens, l'argument économique peut donc être utile pour favoriser le changement modal.
- ii. La méthode appliquée ici est relativement **simple à appliquer** et ne pose pas de problème au niveau de l'acquisition des **données**. En outre, **elle pourrait être appliquée pour d'autres modes de transport** (par exemple, les transports en commun) **et pour d'autres destinations** (par exemple, une entreprise). Parmi les contraintes de localisation propres aux entreprises, le coût total réel de l'utilisation des transports en commun pourrait, par exemple, entrer en ligne de compte dans le choix de l'implantation (au même titre que le temps de transport en commun, comme expliqué dans le chapitre précédent).

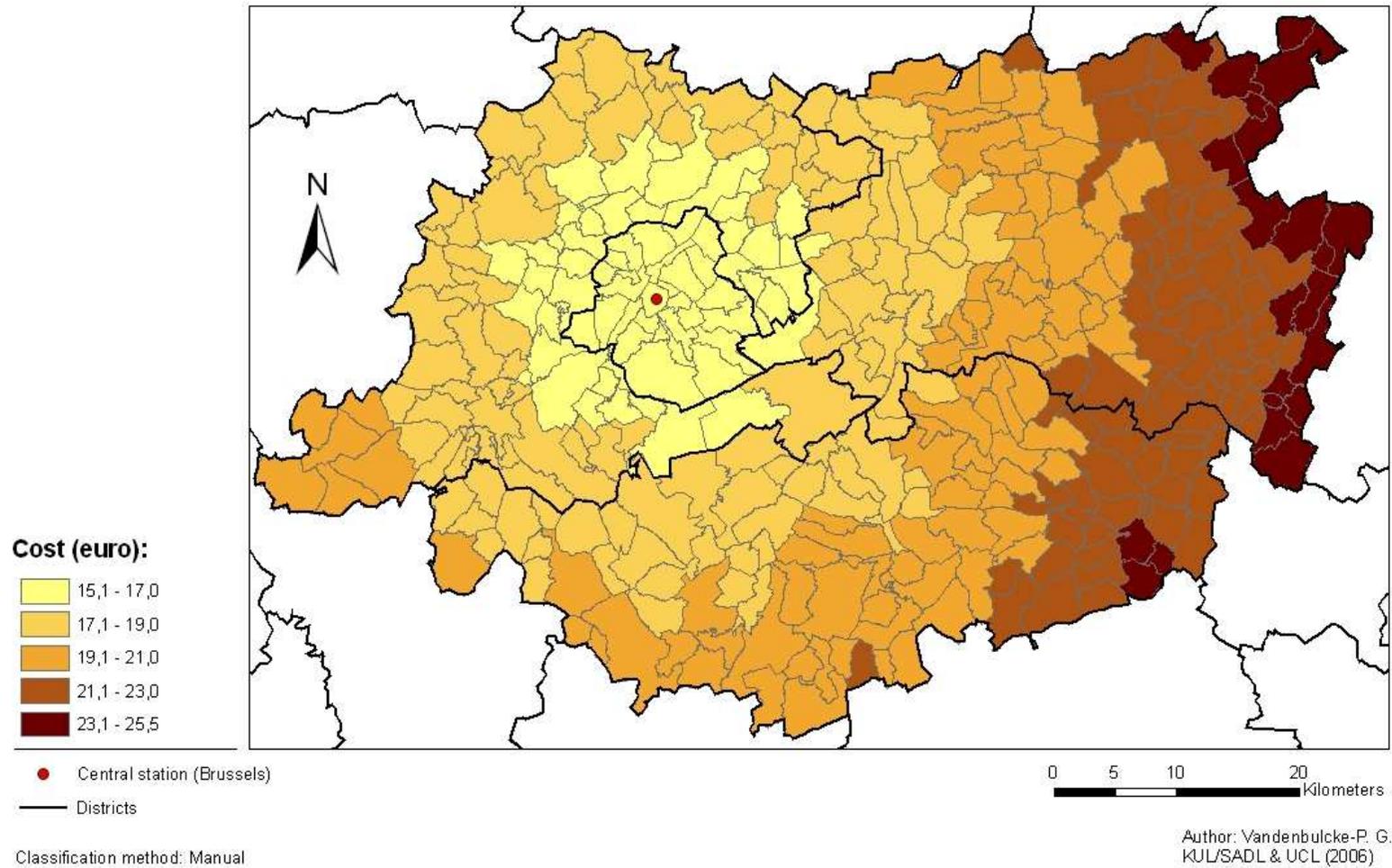
Les **aspects négatifs** associés à l'analyse du coût total réel de l'utilisation de la voiture sont les suivants :

- i. Malgré qu'elle prenne en compte un grand nombre de paramètres, la formule utilisée par le Moniteur Automobile semble négliger le **coût du contrôle technique**, ainsi que celui des éventuels **péages et amendes**.
- ii. Le coût total réel n'est évidemment **pas applicable aux voitures de société**, puisque la majeure partie des frais liés à celles-ci sont déductibles fiscalement. En termes de coûts, les voitures de société sont, de toute façon, bien plus avantageuses pour l'employé (mais aussi pour l'employeur) que les transports en commun ; pour illustrer ces propos, l'enquête menée par Cathy Macharis a montré que la demande pour les transports en commun est parfaitement inélastique lorsque les employés disposent de voitures de société ; dans ce cas, une comparaison des coûts (voiture-transports en commun) n'aurait pas de sens.

⁹⁴ A cause de la gamme très large de formules de paiements pour les transports en commun, nous n'avons cependant pas eu le temps de comparer quantitativement le bénéfice apporté par l'abandon de la voiture.

Daily cost* by car to go to Central station (Brussels)

*The cost is here generalised; it accounts for insurance, fuel, the type of car, taxes, ...



Carte 66 : Coût global occasionné par l'utilisation journalière de la voiture, lorsque la destination est la Gare centrale (Bruxelles)

Tables and figures

Part I : Literature Review

Figures

- Figure 1: Illustration of the necessary sets of conditions (Source : Banister and Berechman, 2001)
- Figure 2: Methodology adopted in the first part as regards the choice of accessibility measures
- Figure 3: Conceptual model explaining the functioning of the land-use transport system, the role of accessibility and its relationships with the ecological, socio-cultural and economic systems (Source : Geurs, 2000)
- Figure 4: Distinction between access and accessibility (Source: Rodrigue et al., 2005)
- Figure 5: The different forms of distance decay used to express the increasing disutility to travel (Source: Geurs and Ritsema van Eck, 2001)
- Figure 6: Illustration of the PPS and the PPA (Source : Baradaran and Ramjerdi, 2001)
- Figure 7: Relationships between components and accessibility, and between the components themselves (Source : Geurs and Ritsema van Eck, 2001)
- Figure 8: Schematic illustration of the daily average traffic between 6h00 and 22h00, in Belgium (Source: SPF Mobilité et Transport, Dir. Gén. Mobilité et sécurité routière, 2004)
- Figures 9 and 10: Simplification of the rail network between some major European cities (left) and illustration of the shortest path between the points b and f in a valued graph (right)
- Figure 11: Topological accessibility by road for freight transport (Source: Thomas et al., 2003)
- Figure 12: Isochrones to Brussels (Source: Brans et al., 1981)
- Figure 13: Daily accessibility by rail to population in 2010 (Source: Schürmann et al., 1997 [in Spiekermann and Neubauer, 2002])
- Figure 14: Potential accessibility to the main economic activity centres, 1992 (Source: Gutiérrez and Urbano, 1996)
- Figure 15: Economic potential in Europe (Source: Keeble et al., 1988 [in Geurs and Ritsema van Eck, 2001])
- Figure 16: Potential accessibility to population by car (Source: Schürmann and Talaat, 2000 [in Schürmann and Talaat, 2002])
- Figures 17 and 18: Potential accessibility measure illustrating the job accessibility by car (left) and by public transports (right), in 1995 (Source: Geurs and Ritsema van Eck, 2001)
- Figure 19: Potential accessibility measure illustrating the population accessible by private motorized transport, in 2000 (Source: Hilber and Arendt, 2004)
- Figure 20: Changes in accessibility to the working population due to the MRT (cf. photo) (Source: Zhu and Liu, 2004)
- Figure 21: Competition between inhabitants for the activity D_1 (Source : Geurs and Ritsema van Eck, 2001)
- Figure 22: Competition on both origins and destinations (Source : Geurs and Ritsema van Eck, 2001)
- Figure 23: Travel between a start office and the nearest coffee cart, where one individual is ambulatory and the other uses a wheelchair (Source: Church and Marston, 2003)
- Figure 24: An exemple of a transportation chain (Source : Projet Nodus)
- Figure 25: The consumer surplus
- Figure 26: The SASI Model
- Figures 27 and 28: Changes in accessibility (left) and in GDP per capita (right) as a result of the TEN investments (Source : Fürst et al., 2000)

Figure 29: Lorenz curve and Gini coefficient

Figure 30: Sea and inland waterway as a solution to cope with the congestion and the lack of railway infrastructure

Figure 31: The use of trains and barges as alternative to the road transport and as solution to cope with congested arteries (Source: Rodrigue et al., 2005)

Figure 32: Growth of the automobil park in Belgium between 1903 and 2003 (number of individual cars) (Source : INS)

Figure 33: Evolution of the ARCI indice in Belgium for Belgian individual cars (Source: SPF Mobilité et Transports)

Figure 34: Modal share for home-to-work travels (Source: SSTC, 2001)

Figure 35: Distribution of travels during one working day and according to the time of departure (Source: SSTC, 2001)

Figure 36: The potential for modal change associated with the distance and the transport costs. Note that D_1 is generally located between 500 and 750 kilometres of the origin, while D_2 is near 1500 kilometres (Source: Rodrigue et al., 2005)

Figures 37 and 38: Modal share of transports in Brussels and in its periphery (Source: Wouters, 2005)

Figure 39: Commercial speed of the buses STIB, 2001 (Source: Stratec, 2004 [in Wouters, 2005])

Figure 40: Occupancy rate of the parking in the Region of Brussels-Capital, 2003 (Source: Stratec [in Wouters, 2005])

Tables

Table 1 : Type of accessibility measures and components (Source : Geurs and van Wee, 2004)

Table 2: Summary of review of accessibility measures (Source: Geurs and Ritsema van Eck, 2001)

Table 3: Minimum frequency and maximum waiting time to the bus/tram stop according to the period and the residential zone, and maximum distance between the dwelling and the stop (Source: CPDT, 2005)

Part II : Data Inventory

Tableaux

Tableau 1 : Disponibilité des données relatives au transport de voyageurs par train (SNCB)

Tableau 2 : Disponibilité des données relatives au transport de voyageurs par tram/métro (STIB)

Tableau 3 : Disponibilité des données relatives au transport de personnes par route, en voiture

Tableau 4 : Disponibilité des données relatives au transport de personnes par route, en bus

Tableau 5 : Disponibilité des données relatives au transport de marchandises par voie ferrée (B-Cargo)

Tableau 6 : Disponibilité des données relatives au transport routier de marchandises

Tableau 7 : Disponibilité des données relatives au transport fluvial de marchandises

Part III : Methodology and results

Figures

Figure 1 : Variation de la valeur d'impédance en fonction de la densité (population ou emploi) et du coefficient α

Figure 2 : Corrélation entre les deux séries de données temporelles (Viamichelin et modèle)

Figure 3 : L'interface entre les centres de population et le réseau routier est très différente selon le type de voirie considéré. Alors que les autoroutes ne permettent pas d'accès direct vers ces centres (sauf aux sorties), les nationales / chaussées donnent la possibilité de s'arrêter en certains points pour accéder quasi-directement aux habitations et commerces.

Figure 4 : Temps de parcours maximum en fonction du nombre de villes considérées dans le modèle

Figure 5 : Ajustement d'une nouvelle courbe de probabilité de se déplacer sur les observations de l'enquête MOBEL

Figure 6 : Profil de la vitesse en fonction du débit (Enault, 2005)

Figure 7 : Types de déplacements (effectués pendant les heures de pointe et entre les régions) retenus par l'enquête MOBEL (Source : Données MOBEL, 1998/99).

Figure 8 : Heures creuses - Nombre d'habitants et d'emplois par intervalle de temps autour des terminaux de Zaventem et de Charleroi

Figure 9 : Heures de pointe – Nombre d'habitants et d'emplois par intervalle de temps autour des terminaux de Zaventem et de Charleroi

Figure 10 : Heures creuses – Nombre d'habitants et d'emplois par intervalle de distance autour des gares voyageurs

Figure 11 : Heures de pointe – Nombre d'habitants et d'emplois par intervalle de distance autour des gares voyageurs

Figure 12 : Cette image satellitaire est tirée de Google Earth et illustre un lotissement, situé à Gruitrode (dans la province du Limbourg). A l'heure actuelle, de nombreux lotissements se développent encore dans des zones agricoles, éloignées de toute gare et de tout service public, et font la part belle à l'automobile (ce qui a pour résultat d'augmenter les problèmes de mobilité).

Figure 13 : Illustration du choix entre deux gares de fréquences différentes

Figure 14 : Modèle régressif mettant en relation l'accessibilité temporelle des gares étudiées en 2006 par rapport à l'accessibilité en termes de distance parcourue sur le réseau

Figure 15 : Ces images sont tirées de Google Earth et illustrent un parc industriel à Kontich, au sud de la ville d'Antwerpen. Vue du parc à proximité de l'autoroute E19 (haut) et zoom sur un parking d'une entreprise (bas). L'utilisation intense de l'automobile est mise en évidence par le taux de remplissage relativement élevé du parking. Notons que ces images ont moins de 3 ans.

Figure 16 : Parc industriel à Beveren, situé dans la zone industrialo-portuaire d'Antwerpen (haut). La photo du bas montre un zoom sur un parking de l'une des entreprises (bas). L'utilisation intense de l'automobile est à nouveau mise en évidence.

Figure 17 : Parc industriel à Overijse, établi le long de la N4. En observant attentivement, on pourra remarquer le taux de remplissage élevé des parkings pour voitures.

Figure 18 : Sur chacune des photos, on observera encore la prédominance de la voiture dans les déplacements (Photo du haut : zoom sur une autre partie du parc d'Overijse ; Photo du milieu : Siège de VTM, établi à Vilvoorde ; Photo du bas : vue sur une zone de bureaux, établie à Wemmel). Notons que la plupart des entreprises figurant sur les photos se situent à proximité du ring, privilégiant ainsi l'accessibilité routière à l'accessibilité en

transports en commun. Aux heures de pointe, les conséquences de ce développement le long du ring se présentent sous forme de congestion routière.

Figure 19 : La photo du haut montre une entreprise établie à Grimbergen, à proximité du ring de Bruxelles. Celle du bas montre une autre entreprise, établie à Zaventem. On observe à nouveau un taux de remplissage élevé des parkings.

Figure 20 : Parc industriel à Maasmechelen, localisé près de l'autoroute E314 (Vue d'ensemble (photo du haut) et zoom sur une partie du parc (photo du bas)). Dans le nord de la province du Limbourg, la faible accessibilité ferroviaire explique probablement l'utilisation intense de la voiture dans les déplacements domicile-travail.

Figure 21 : Vue sur un parc d'activités, situé en périphérie de Liège (près de l'autoroute E40). Le zoom montre un taux de remplissage élevé des parkings.

Figure 22 : Proportion d'emplois (par rapport à l'ensemble des emplois des secteurs statistiques > 850 emplois/km²) situés à une distance supérieure à 750 et 2000 mètres

Figure 23 : Pourcentages cumulés du nombre d'emplois en fonction de la distance à la gare la plus proche

Figure 24 : Temps de correspondance à Mérode en fonction de la période de la journée et de la direction prise sur le réseau (2006)

Figure 25 : Modèle régressif mettant en relation l'accessibilité temporelle (notée y) VERS les stations de métro (STIB) étudiées en 2006 par rapport à l'accessibilité en termes de distance parcourue sur le réseau (notée x)

Figure 26 : Modèle régressif mettant en relation l'accessibilité temporelle (notée y) AU DEPART des stations de métro (STIB) étudiées en 2006 par rapport à l'accessibilité en termes de distance parcourue sur le réseau (notée x)

Figure 27 : Illustration d'aires de service (0-250 m) autour des arrêts de bus STIB (et quelques arrêts De Lijn), à Bruxelles. Sur l'image, les aires de service sont coloriées en orange et les arrêts correspondent aux points (bleus : STIB ; verts : De Lijn). Le réseau routier est également placé en arrière plan, pour montrer son influence sur la forme des aires de service (par exemple, aire de service en forme d'étoile, en haut à droite).

Figure 28 : Commune de Leuven – Pourcentages cumulés d'habitants et d'emplois par intervalle de distance (m)

Figure 29 : Commune de Herent – Pourcentages cumulés d'habitants et d'emplois par intervalle de distance (m)

Figure 30 : Commune de Bertem – Pourcentages cumulés d'habitants et d'emplois par intervalle de distance (m)

Figure 31 : Commune de Wavre – Pourcentages cumulés d'habitants et d'emplois par intervalle de distance (m)

Figure 32 : Commune d'Ottignies-Louvain-la-Neuve – Pourcentages cumulés d'habitants et d'emplois par intervalle de distance (m)

Figure 33 : Commune de Chaumont-Gistoux – Pourcentages cumulés d'habitants et d'emplois par intervalle de distance (m)

Figure 34 : Région de Bruxelles-Capitale – Pourcentages cumulés d'habitants et d'emplois par intervalle de distance (m)

Tableaux

Tableau 8 : Nombre potentiel d'habitants par aéroport – Comparaison entre les deux périodes de temps (heures creuses et heures de pointe)

Tableau 9 : Nombre potentiel d'habitants par aéroport (Zaventem et Charleroi, uniquement) – Comparaison entre les deux périodes de temps (heures creuses et heures de pointe)

Tableau 10 : Nombre de trains par gare et type de relation (IC, IR, ...)

Tableau 11 : Mode de transport utilisé (%) selon la distance entre la gare et le lieu de travail
(sources : SSTC, 2001)

Cartes

- Carte 1 : Temps de parcours à la ville la plus proche (de niveau H₁)
- Carte 2 : Temps de parcours à la ville la plus proche (de niveau H₂)
- Carte 3 : Temps de parcours à la ville la plus proche (de niveau H₃)
- Carte 4 : Temps de parcours à la ville la plus proche (de niveau H₄)
- Carte 5 : Temps de parcours à la ville la plus proche (de niveau H₅)
- Carte 6 : Temps de parcours à la ville la plus proche, pendant les heures creuses (H₁, H₂)
- Carte 7 : Temps de parcours à la ville la plus proche, pendant les heures creuses (H₁, H₂, H₃)
- Carte 8 : Temps de parcours à la ville la plus proche, pendant les heures creuses (H₁, H₂, H₃, H₄)
- Carte 9 : Temps de parcours à la ville la plus proche, pendant les heures creuses (H₁, H₂, H₃, H₄, H₅)
- Carte 10 : Temps de parcours à la ville la plus proche, pendant les heures de pointe (H₁, H₂)
- Carte 11 : Temps de parcours à la ville la plus proche, pendant les heures de pointe (H₁, H₂, H₃)
- Carte 12 : Temps de parcours à la ville la plus proche, pendant les heures de pointe (H₁, H₂, H₃, H₄)
- Carte 13 : Temps de parcours à la ville la plus proche, pendant les heures de pointe (H₁, H₂, H₃, H₄, H₅)
- Carte 14 : Accessibilité temporelle en Belgique (indice de Shimbel)
- Carte 15 : Nombre d'emplois potentiellement accessibles en voiture - Méthode de Classification : Natural Breaks
- Carte 16 : Nombre d'emplois potentiellement accessibles en voiture - Méthode de classification : Equal Interval
- Carte 17 : Nombre d'emplois potentiellement accessibles en voiture - Méthode de classification : Standard Deviation
- Carte 18 : Nombre d'habitants potentiellement accessibles en voiture - Méthode de classification : Natural Breaks
- Carte 19 : Nombre d'habitants potentiellement accessibles en voiture - Méthode de classification : Equal Interval
- Carte 20 : Nombre d'habitants potentiellement accessibles en voiture - Méthode de classification : Standard Deviation
- Carte 21 : Temps de parcours à l'aéroport le plus proche, pendant les heures creuses
- Carte 22 : Temps de parcours à l'aéroport le plus proche, pendant les heures de pointe
- Carte 23 : Différence absolue entre les heures de pointe et les heures creuses
- Carte 24 : Différence relative (%) entre les heures de pointe et les heures creuses
- Carte 25 : Aéroports de Zaventem et de Charleroi – Temps de parcours à l'aéroport le plus proche, pendant les heures creuses
- Carte 26 : Aéroports de Zaventem et de Charleroi – Temps de parcours à l'aéroport le plus proche, pendant les heures de pointe (Classification manuelle)
- Carte 27 : Aéroports de Zaventem et de Charleroi – Temps de parcours à l'aéroport le plus proche, pendant les heures de pointe (Natural Breaks)
- Carte 28 : Aéroports de Zaventem et de Charleroi – Différence absolue entre les heures de pointe et les heures creuses
- Carte 29 : Aéroports de Zaventem et de Charleroi – Différence relative (%) entre les heures de pointe et les heures creuses

- Carte 30 : Isochrones et buffers – Temps de parcours à l’aéroport de Zaventem, pendant les heures de pointe.
- Carte 31 : Aires de service des aéroports belges – Aéroport le plus proche, pendant les heures creuses
- Carte 32 : Aires de service des aéroports belges – Aéroport le plus proche, pendant les heures de pointe
- Carte 33 : Aires de service des aéroports de Zaventem et de Charleroi – Aéroport le plus proche, pendant les heures creuses
- Carte 34 : Aires de service des aéroports de Zaventem et de Charleroi – Aéroport le plus proche, pendant les heures de pointe
- Carte 35 : Distance à la gare la plus proche
- Carte 36 : Temps de parcours à la gare la plus proche, pendant les heures creuses
- Carte 37 : Temps de parcours à la gare la plus proche, pendant les heures de pointe
- Carte 38 : Brabant Wallon – Temps de parcours à la gare la plus proche, pendant les heures creuses
- Carte 39 : Brabant Wallon – Temps de parcours à la gare la plus proche, pendant les heures de pointe
- Carte 40 : Brabant Flamand et Région bruxelloise – Temps de parcours à la gare la plus proche, pendant les heures creuses
- Carte 41 : Brabant Flamand et Région bruxelloise – Temps de parcours à la gare la plus proche, pendant les heures de pointe
- Carte 42 : Gares voyageurs (SNCB) – Différence absolue entre les heures de pointe et les heures creuses
- Carte 43 : Gares voyageurs (SNCB) – Différence relative entre les heures de pointe et les heures creuses
- Carte 44 : Temps généralisé aux gares voyageurs, pendant les heures creuses
- Carte 45 : Temps généralisé aux gares voyageurs, pendant les heures de pointe
- Carte 46 : Accessibilité des gares IC – Effets de l’exploitation par la SNCB (2006)
- Carte 47 : Province d’Antwerpen – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d’emploi
- Carte 48 : Province de Flandre Occidentale – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d’emploi
- Carte 49 : Province de Flandre Orientale – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d’emploi
- Carte 50 : Province du Brabant Flamand – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d’emploi
- Carte 51 : Province du Limbourg – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d’emploi
- Carte 52 : Région de Bruxelles-Capitale – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d’emploi
- Carte 53 : Province du Brabant Wallon – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d’emploi
- Carte 54 : Province du Hainaut – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d’emploi
- Carte 55 : Province de Namur – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d’emploi
- Carte 56 : Province de Liège – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d’emploi
- Carte 57 : Province du Luxembourg – Distance (km) entre les gares et les secteurs statistiques à fortes densités d’emploi

- Carte 58 : Accessibilité d'une station de métro i vers les autres stations j – Effets de l'exploitation par la STIB (2006)
- Carte 59 : Accessibilité d'une station de métro i à partir des autres stations j – Effets de l'exploitation par la STIB (2006)
- Carte 60 : Isodistances et buffers – Distance à la station de métro (STIB) la plus proche
- Carte 61 : Temps de trajet à la Gare centrale (Bruxelles) en utilisant les transports publics, tous modes confondus
- Carte 62 : Essai de synthèse statistique – Accessibilité aux villes, gares, et aéroports pendant les heures creuses
- Carte 63 : Essai de synthèse statistique – Accessibilité aux villes, gares, et aéroports pendant les heures de pointe
- Carte 64 : Essai de synthèse statistique – Accessibilité aux villes et gares pendant les heures creuses
- Carte 65 : Essai de synthèse statistique – Accessibilité aux villes et gares pendant les heures de point

Part IV : Conclusions and recommendations

Figures

Figure 35 : Les indicateurs d'accessibilité en tant que support décisionnel et base de travail pour des analyses plus locales. A noter que ces indicateurs sont d'une importance cruciale dans l'établissement des Plans de Transport.

Appendices

Annexes

- Annexe 1 : Cartographie des principales régions urbaines belges (Mérenne, Van der Haegen & Van Hecke, 1998)
- Annexe 2 : Classement des gares IC en fonction de la valeur des résidus (RANG Résidus) et en fonction de l'accessibilité temporelle (RANG Shimbél Temps) et kilométrique (RANG Shimbél Distance)
- Annexe 3 : Classement des stations de métro en fonction de la valeur des résidus (RANG Résidus)
- Annexe 4 : Coût global occasionné par l'utilisation journalière de la voiture

Cartes

Carte 66 : Coût global occasionné par l'utilisation journalière de la voiture, lorsque la destination est la Gare centrale (Bruxelles)