

PADD II

DEMOGRAPHIE, GEOGRAPHIE ET MOBILITE: PERSPECTIVES A LONG TERME ET POLITIQUES POUR UN DEVELOPPEMENT DURABLE (MOBIDIC)

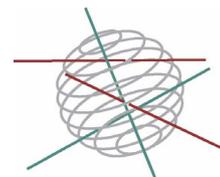
D. GUSBIN, PH. TOINT, E. CORNELIS, M. POULAIN, T. EGGERICKX



PARTIE 1

MODES DE PRODUCTION ET DE CONSOMMATION DURABLES

-  PROBLEMATIQUES GENERALES
-  AGRO-ALIMENTAIRE
-  ENERGIE
-  TRANSPORT



Partie 1:
Modes de production et de consommation durables

RAPPORT FINAL



Démographie, géographie et mobilité: perspectives à long terme et
politiques pour un développement durable
(MOBIDIC)

CP/60

Raphaël Desmet, Dominique Gusbin, Bruno Hoornaert,
Micheline Lambrecht, Inge Mayeres, et Jean-Marc Paul
Bureau fédéral du Plan (BFP)

Michel Poulain, Thierry Eggerickx, Amel Bahri et Jean-Paul Sanderson
Université Catholique de Louvain (UCL)

Philippe Toint, Eric Cornélis et Anne Malchair
Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix (FUNDP)

March 2007



POLITIQUE SCIENTIFIQUE FEDERALE



Bureau
fédéral du Plan

GRI

UCL



D/2007/1191/16

Publié en 2007 par la Politique scientifique fédérale

Rue de la Science 8

B-1000 Bruxelles

Belgique

Tel: + 32 (0)2 238 34 11 – Fax: + 32 (0)2 230 59 12

<http://www.belspo.be>

Personne de contact:

Mme Hilde Van Dongen

Secrétariat: + 32 (0)2 238 37 61

La Politique scientifique fédérale ainsi que toute personne agissant en son nom ne peuvent être tenus pour responsables de l'éventuelle utilisation qui serait faite des informations qui suivent. Les auteurs sont responsables du contenu.

Cette publication ne peut ni être reproduite, même partiellement, ni stockée dans un système de récupération ni transmise sous aucune forme ou par aucun moyens électronique, mécanique, photocopies, enregistrement ou autres sans y avoir indiqué la référence.

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	9
1.1. Objectifs généraux du projet.....	9
1.2. Structure du projet.....	10
1.4. Structure du rapport.....	11
1.5. Terminologie relative aux scénarios étudiés.....	12
2. Sous-modèle de génération de mobilité	13
2.1. Module sociodémographique.....	13
2.1.1. Les objectifs propres au GÉDAP.....	13
2.1.1.1. Traitement et diffusion de données sociodémographiques.....	13
2.1.1.2. Élaboration de perspectives démographiques à l’horizon 2030.....	13
2.1.2. Les données et la typologie de ménages.....	14
2.1.3. Méthodologie.....	16
2.1.3.1. Les perspectives démographiques et de ménages.....	16
2.1.3.2. Les scénarios alternatifs : les migrations interarrondissement.....	18
2.1.4. Quelques résultats.....	27
2.1.4.1. L’impact des scénarios alternatifs sur l’évolution de la population.....	27
2.1.4.2. L’impact des scénarios alternatifs sur la répartition de la population par groupes d’âge.....	31
2.1.4.3. L’impact des scénarios alternatifs sur les effectifs par types de ménage.....	34
2.1.5. Conclusions.....	38
2.2. Module « profils de mobilité ».....	39
2.2.1. Introduction.....	39
2.2.2. La méthodologie des populations synthétiques.....	39
2.2.3. Les données utilisées et leurs limitations.....	41
2.2.4. Les indicateurs de mobilité nécessaires au sous-modèle environnemental.....	43
2.2.5. La méthodologie utilisée pour déterminer les indicateurs de mobilité.....	44
2.2.6. L’intégration des données sociodémographiques pour la construction des populations futures.....	50
2.2.7. Les différents scénarios de projection démographique.....	53
2.2.7.1. Le scénario statique (SS).....	53
2.2.7.2. Le scénario dynamique (SD).....	53
2.2.7.3. Le scénario « diplômés dynamiques » (SDD).....	54
2.2.8. Les précautions à prendre avec les résultats.....	56
2.2.9. Quelques résultats.....	56
2.2.10. Quelques comparaisons entre scénarios.....	59
2.2.11. Les améliorations possibles et les autres applications envisageables.....	63
3. Le sous-modèle de distribution	65
3.1. Introduction.....	65
3.2. La modélisation de la distribution des déplacements domicile-travail.....	65
3.2.1. Définitions et remarques.....	66
3.2.2. Modèles gravitaires : caractéristiques générales.....	66
3.2.3. Introduction d’effets de barrière dans les modèles gravitaires.....	68
3.3. Calibration du modèle de distribution des déplacements.....	70
3.3.1. Méthode.....	70
3.3.2. Données nécessaires à la calibration.....	72

3.3.3. Résultats de l'estimation	74
3.4. Simulation des déplacements domicile-travail pour la période 2005-2030.....	80
3.4.1. Introduction	80
3.4.2. Données	80
3.4.3. Simulation des matrices production-attraction.....	85
4. Le sous-modèle environnemental.....	89
4.1. Introduction.....	89
4.2. Aperçu des études existantes	89
4.3. Champ d'application	91
4.3.1. Scénarios	91
4.3.2. Modes de transport et types de motorisation.....	91
4.3.3. Polluants	91
4.4. La demande de transport.....	92
4.4.1. Généralités.....	92
4.4.2. Trajets	92
4.4.3. Distance moyenne	94
4.4.4. Voyageurs-kilomètres.....	94
4.5. Méthode de calcul des émissions	97
4.5.1. Généralités.....	97
4.5.2. Variables d'activité.....	97
4.5.3. Ventilation des variables d'activité par type de carburant	99
4.5.4. Consommation spécifique d'électricité	100
4.5.5. Facteurs d'émission.....	101
4.6. Résultats	104
4.6.1. Émissions directes	104
4.7. Conclusions.....	108
5. Conclusions & Perspectives	111
Bibliographies.....	113
Bibliographie du GéDAP	113
Bibliographie du GRT	115
Bibliographie du BFP	117
Annexes	121
Annexe A : Les 43 arrondissements belges	121
Annexe B : Les déplacements domicile-travail en Belgique dans une perspective historique.....	122
Annexe C : L'estimation d'un modèle gravitaire à double contrainte par le modèle de Poisson	127
Annexe D : L'Enquête socioéconomique de 2001	128
Annexe E : Les coûts du transport.....	131
Annexe F : Evolution des émissions selon les différents scénarios.....	140

Liste des figures

Figure 1.	Schéma résumant le projet MOBIDIC.....	10
Figure 2.	Résumé des noms et des relations entre scénarios	12
Figure 3.	Evolution des migrations interarrondissement observées et attendues de 954 à 2001	20
Figure 4.	Les résidus positifs (en 2002).....	21
Figure 5.	Les résidus négatifs (en 2002).....	22
Figure 6.	Evolution du nombre d'émigrants dans quelques arrondissements pour la période 1970-2001 (1970 = base 100)	23
Figure 7.	Cartes des arrondissements urbains et périurbains	25
Figure 8.	L'évolution de la population de l'arrondissement de Bruxelles-Capitale selon le scénario de base et le scénario alternatif 1	28
Figure 9.	L'évolution de la population de l'arrondissement de Anvers selon le scénario de base et le scénario alternatif 1	28
Figure 10.	L'évolution de la population de l'arrondissement de Nivelles selon le scénario de base et le scénario alternatif 1	29
Figure 11.	L'évolution de la population de l'arrondissement de Ath selon le scénario de base, le scénario alternatif 1 et le scénario alternatif 2.....	30
Figure 12.	L'évolution de la population de l'arrondissement de Malines selon le scénario de base, le scénario alternatif 1 et le scénario alternatif 2	31
Figure 13.	La pyramide des âges de la population de l'arrondissement de Bruxelles- Capitale en 2030 selon le scénario de base et le scénario alternatif 1	32
Figure 14.	La pyramide des âges de la population de l'arrondissement de Anvers en 2030 selon le scénario de base et le scénario alternatif 1.....	32
Figure 15.	La pyramide des âges de la population de l'arrondissement de Nivelles en 2030 selon le scénario de base et le scénario alternatif 1	33
Figure 16.	La pyramide des âges de la population de l'arrondissement de Ath en 2030 selon les scénarios alternatifs 1 et 2.....	33
Figure 17.	La pyramide des âges de la population de l'arrondissement de Malines en 2030 selon les scénarios de base et alternatifs 1	34
Figure 18.	Proportion d'individus par types de ménage en 2030 (en %) avec le scénario de base	35
Figure 19.	Évolution du nombre d'individus par types de ménage à Bruxelles-Capitale en 2030 (2005 = base 100)	36
Figure 20.	Évolution du nombre d'individus par types de ménage à Anvers en 2030 (2005 = base 100).....	36
Figure 21.	Évolution du nombre d'individus par types de ménage à Nivelles en 2030 (2005 = base 100).....	37
Figure 22.	Évolution du nombre d'individus par types de ménage à Ath en 2030 (2005 = base 100).....	37
Figure 23.	Évolution du nombre d'individus par types de ménage à Malines en 2030 (2005 = base 100).....	38
Figure 24.	Schéma succinct des étapes suivies pour déterminer les profils de mobilité	55
Figure 25.	Évolution temporelle du nombre de déplacements de plus de 50 km réalisés en Belgique (cas du scénario dynamique).....	57
Figure 26.	Évolution au cours du temps du nombre de déplacements ayant leur origine et leur destination dans une même entité (nouvelle commune) dans le cas du scénario statique	57
Figure 27.	Évolution au cours du temps du nombre de déplacements ayant leur origine et leur destination dans un même arrondissement dans le cas du scénario statique.....	58

Figure 28.	Évolution du mode « voiture conducteur » pour deux arrondissements dans le cas du scénario diplôme dynamique	58
Figure 29.	Évolution du mode « bus » pour deux arrondissements dans le cas du scénario diplôme dynamique.....	59
Figure 30.	Pourcentage des déplacements pour le travail réalisés en voiture comme conducteur (arrondissement d'Antwerpen)	60
Figure 31.	Nombre de déplacements pour le travail réalisés en voiture comme conducteur (arrondissement d'Antwerpen).....	60
Figure 32.	Évolution du "mode" en Belgique (scénario statique).....	61
Figure 33.	Évolution du « mode » en Belgique (scénario dynamique).....	61
Figure 34.	Augmentation de l'utilisation de la voiture dans le cas du scénario statique.....	62
Figure 35.	Augmentation de l'utilisation de la voiture dans le cas du scénario dynamique.....	63
Figure 36.	Évolution de la demande de transport en millions de voyageurs-kilomètres pour le transport motorisé (a), les BTM (b), la voiture (c) et le train (d) dans le scénario A0 (échelle de gauche), et évolution des écarts relatifs entre les scénarios A1 et A0 (A1/A0) et les scénarios B et A0 (B/A0) (échelle de droite).....	96
Figure 37.	Évolution des émissions directes totales de CO ₂ en ktonnes (a) et PM en tonnes (b) dans le scénario A0 (échelle de gauche) et évolution des différences relatives entre les scénarios A1 et A0 (A1/A0) et entre les scénarios B et A0 (B/A0) (échelle de droite).	105
Figure 38.	Évolution des émissions directes de CO ₂ en ktonnes des modes BTM (a) et train (b) dans le scénario A0 (échelle de gauche) et évolution des différences relatives entre les scénarios A1 et A0 (A1/A0) et entre les scénarios B et A0 (B/A0) (échelle de droite).	105
Figure 39.	Évolution des émissions indirectes de CO ₂ en ktonnes (a) et de NO _x en tonnes (b) dans le scénario A0 (échelle de gauche) et évolution des écarts relatifs entre les scénarios A1 et A0 (A1/A0) et entre les scénarios B et A0 (B/A0) (échelle de droite).	106
Figure 40:	Evolution des émissions de CO ₂ par les voitures estimées par TM Leuven et par le BFP selon le scénario A0 (diagrammes en ligne) et décomposition de la différence entre les deux scénarios par variable explicative – année de base 2000 = 100.....	107

Liste des tableaux

Tableau 1. Coefficients appliqués dans le scénario alternatif 1 à partir de 2002	24
Tableau 2. L'âge moyen de la population des arrondissements en 2030 selon les différents scénarios.....	31
Tableau 3. Extrait de la population de base pour l'arrondissement d'Antwerpen (année de référence 2000) construite avec la méthodologie des populations synthétiques	41
Tableau 4. Répartition des déplacements pour le travail entre les classes de mode pour la province de Namur.....	50
Tableau 5. Forme générale d'une matrice production-attraction.....	66
Tableau 6. Le coût monétaire du transport de passagers en 2000.....	73
Tableau 7. Valeur du temps (€/h), 2004	74
Tableau 8. Définitions possibles des déplacements intrarégionaux et interrégionaux.....	75
Tableau 9. Comparaison des différents modèles de distribution des déplacements avec effet de barrière variable	78
Tableau 10. Comparaison des modèles de distribution de déplacements avec effets de barrière différents.....	79
Tableau 11. Les parts des modes de transport en Belgique – GRT vs Enquête socioéconomique	81
Tableau 12. Résultats de l'estimation réalisée à l'aide du modèle de marché régional de l'emploi.....	83
Tableau 13. Composition du parc de véhicules.....	84
Tableau 14. Evolution de la consommation des véhicules.....	84
Tableau 15. Evolution des prix réels des carburants (toutes taxes comprises)(2000 = 100)	84
Tableau 16. Projection des coûts monétaires du transport par voiture (€/100vkm).....	85
Tableau 17. Transport domicile-travail 2000-2030 – Scénario A0	86
Tableau 18. Transport domicile-travail 2000-2030 – Scénario A1	87
Tableau 19. Transports des navetteurs 2000-2030 – Scénario B	88
Tableau 20. Scénarios pour lesquels l'évolution des émissions est calculée.....	91
Tableau 21. Modes de transport et types de motorisation pris en compte dans le projet MOBIDIC	91
Tableau 22. Émissions directes de substances polluantes prises en compte dans le cadre du projet MOBIDIC	91
Tableau 23. Évolution du nombre annuel de déplacements pour d'autres motifs que le travail dans le scénario A0 (en millions)	93
Tableau 24. Évolution du nombre annuel de déplacements effectués pour d'autres motifs que le travail dans le scénario A1 (en millions)	93
Tableau 25. Distance moyenne des déplacements effectués pour d'autres motifs que le travail (en km)	94
Tableau 26. Évolution du nombre de voyageurs-kilomètres dans le scénario A0 (en millions)...	95
Tableau 27. Évaluation du nombre de voyageurs-kilomètres pour De Lijn et le TEC - 2000	98
Tableau 28. Évaluation du taux d'occupation pour les modes BTM - 2000.....	98
Tableau 29. Évaluation du nombre de voyageurs par tonne-kilomètre brute remorquée - 2000	98
Tableau 30. Évolution de la part des différents types de carburant/technologie dans le nombre de kilomètres parcourus (vkm) en voiture particulière.....	99
Tableau 31. Répartition du kilométrage parcouru par les BTM - 2000	100
Tableau 32. Évolution de la part de l'électricité et du diesel dans le nombre de tonnes-kilomètres brutes remorquées	100
Tableau 33. Consommation électrique pour la traction dans les trois sociétés de transport public en 2000 - GWh.....	101

Tableau 34. Évolution de la consommation spécifique d'électricité par le rail – kWh/tonne-kilomètre brute remorquée.....	101
Tableau 35. Évolution de la part des biocarburants dans la consommation de carburants par le transport par route.....	101
Tableau 36. Évolution de la teneur en soufre des différents carburants – g/kg.....	102
Tableau 37. Évolution des facteurs d'émission moyens pour les voitures particulières – g/km.	102
Tableau 38. Évolution des facteurs d'émission pour les autobus – g/km	103
Tableau 39. Évolution des facteurs d'émission pour les locomotives et automotrices diesel – g/tonne-kilomètre brute remorquée	103
Tableau 40. Évolution des facteurs d'émission pour la production d'électricité – g/kWh	103
Tableau 41. Évolution des émissions directes d'après le scénario A0 - tonnes.....	104
Tableau 42. Évolution des émissions indirectes dans le scénario A0 - tonne.....	106

1. Introduction

Le projet en réseau « Démographie, géographie et mobilité : perspectives à long terme et politiques pour un développement durable (MOBIDIC) » a été réalisé dans le cadre du Plan d'Appui scientifique à une politique de Développement Durable (PADD II) par trois équipes de recherche : le Bureau Fédéral du Plan (BFP), coordinateur du projet, le Groupe de Recherche sur les Transports (GRT) des Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix (FUNDP) à Namur et le Groupe d'Etudes de Démographie Appliquée (GéDAP) de l'Université Catholique de Louvain (UCL).

1.1. Objectifs généraux du projet

L'objectif du projet MOBIDIC est double : d'une part, analyser le rôle des facteurs sociodémographiques, géographiques et économiques dans la détermination de la demande de mobilité des personnes et, d'autre part, élaborer des perspectives à long terme (2005-2030) de la demande de déplacements et des émissions polluantes y associées. Ces perspectives sont basées sur une estimation de l'évolution de la demande de mobilité et de la distribution spatiale de celle-ci. Cette évolution est, quant à elle, liée entre autres à l'évolution démographique. Le niveau de désagrégation spatiale choisi pour l'analyse est celui des arrondissements belges (NUTS 3) en raison de la disponibilité des données.

Le caractère innovant du projet MOBIDIC se situe, d'une part, dans le fait que son analyse de la demande de mobilité est focalisée sur des facteurs sociodémographiques tels que les effets de cohorte et, d'autre part, dans l'attention particulière qui est portée à l'évolution des flux de transport entre arrondissements pour les déplacements domicile-travail.

La production de projections à long terme de l'activité de transport de personnes et des émissions associées s'inscrit parfaitement dans le cadre du programme PADD II. En effet, en s'appuyant sur cette recherche comme base scientifique, les décideurs politiques disposent d'informations nouvelles et utiles pour ébaucher une gestion à long terme de cette problématique, s'inscrivant par là même dans une optique de développement durable.

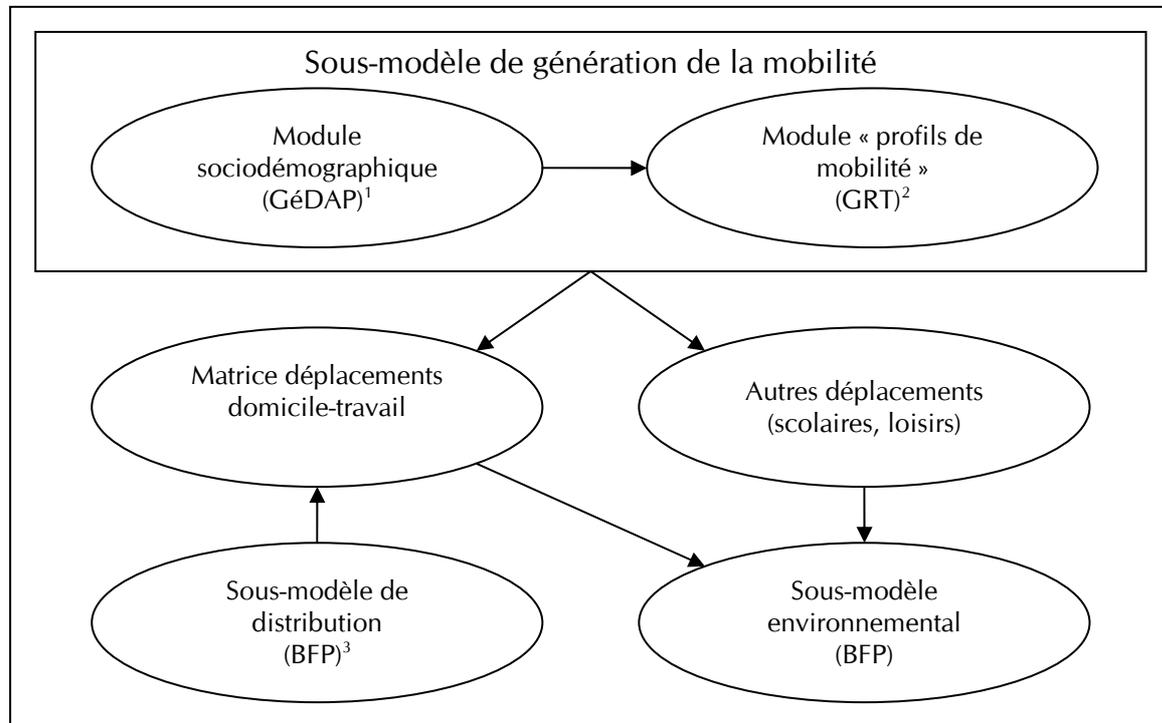
L'approche adoptée pour réaliser les projections se base sur le développement de trois sous-modèles dont les objectifs sont les suivants :

1. analyser l'effet de l'évolution des facteurs géographiques, sociodémographiques et économiques sur les flux de transport de personnes et le choix modal en Belgique (sous-modèle de génération de la mobilité);
2. réaliser des projections de référence à long terme (2020-2030) pour le transport de personnes entre les 43 arrondissements belges en considérant tant les facteurs mentionnés ci-dessus que la contribution de chaque arrondissement à la production des flux de transport, pour les déplacements domicile-travail et chaque mode de transport (sous-modèle de distribution);
3. évaluer les émissions générées par le transport de personnes pour les projections de référence (sous-modèle environnemental).

1.2. Structure du projet

La structure du projet est décrite ci-après sur base de la Figure 1.

Figure 1. Schéma résumant le projet MOBIDIC



¹ GéDAP : Groupe d'Etudes de Démographie Appliquée

² GRT : Groupe de Recherche sur les Transports

³ BFP : Bureau fédéral du Plan

Premièrement, le sous-modèle de génération de la mobilité décrira les trajets générés entre les différents arrondissements. Ce sous-modèle est en fait divisé en deux parties : (i) le module sociodémographique qui génère la population dans les différents arrondissements et (ii) le module « profils de mobilité » qui affecte à chaque groupe de population un profil de mobilité spécifique.

Deuxièmement, le sous-modèle de distribution décrira le nombre total de trajets domicile-travail que génère et attire chaque arrondissement, comme une fonction de caractéristiques propres à chaque arrondissement tels que l'emploi. En utilisant un modèle d'interaction spatiale, une matrice « origine-destination » pour les 43 arrondissements sera construite.

Et finalement, le sous-modèle environnemental calculera les émissions générées par le transport de passagers. Les émissions dépendront des caractéristiques de la flotte routière, de la vitesse moyenne et des distances couvertes. Pour les trajets domicile-travail les caractéristiques des déplacements seront générées par le sous-modèle de distribution; pour les autres motifs de transport l'output du module « profils de mobilité » sera utilisé.

1.4. Structure du rapport

La structure du rapport reflète l'ordonnancement des différentes parties de la recherche. Ainsi, nous parlerons tout d'abord du **module « sociodémographique »** qui est sous la responsabilité du GédAP. Ce chapitre décrira l'élaboration des perspectives démographiques à l'horizon 2030. Il insistera sur les méthodologies mises en œuvre pour les projections individuelles mais surtout pour les projections de ménage, qui sont un des éléments très originaux de ce projet. Ensuite, les scénarios alternatifs mis en œuvre pour ce qui est des migrations entre arrondissement seront présentés. Enfin, une série de résultats seront commentés. Rappelons, pour terminer, que l'objectif de cette partie du projet est de produire des chiffres de population par arrondissement comme un *input* pour le module « profils de mobilité ».

Ensuite, nous discuterons du **module « profils de mobilité »** qui est réalisé par le GRT. Dans ce chapitre, nous rappellerons brièvement la méthodologie des populations synthétiques mise en œuvre pour créer, à l'aide des données fournies par le GédAP, la population de référence pour l'année de base (2000). Ensuite, nous nous attarderons sur la méthode développée pour associer des indicateurs de mobilité aux diverses catégories de la population. Enfin, nous présenterons les scénarios utilisés pour les projections démographiques avant de détailler quelques résultats et de réaliser quelques comparaisons entre scénarios. La typologie utilisée dans cette partie pour caractériser la population et les profils de mobilité associés à chaque catégorie permettra de déterminer la demande de mobilité présente (p.ex. nombre de déplacements, répartition modale, distances moyennes parcourues, etc.) par arrondissement et par motif (essentiellement travail ou autres motifs). Cela sera utilisé dans la combinaison avec des prévisions démographiques du module précédent, pour évaluer le modèle de demande de mobilité future. Ces résultats serviront *d'input* aux sous-modèles de distribution et environnemental.

Nous poursuivons avec le chapitre suivant qui présentera le **sous-modèle de distribution**. Cette partie est réalisée par le BFP. Quelques rappels sur la modélisation de la distribution des déplacements domicile-travail seront esquissés. Ensuite, les modèles gravitaires seront plus précisément détaillés. La calibration du modèle de distribution choisi sera alors abordée. Cela sera enfin suivi de la description de la simulation des déplacements domicile-travail pour la période 2000-2030. L'objectif premier du modèle décrit dans ce chapitre est de distribuer les déplacements domicile-travail entre les différents arrondissements et de générer par là une matrice origine-destination entre les 43 arrondissements belges pour ce motif particulier.

Enfin, nous présenterons le **sous-modèle environnemental**, également réalisé par le BFP. Après un aperçu des études existantes, ce chapitre reprendra les éléments intervenant dans la demande de transport avant de décrire la méthode de calcul des émissions. Il se conclura par quelques commentaires sur les résultats obtenus. En résumé, ce sous-modèle consiste à calculer les émissions produites par le transport de passagers. Les émissions dépendront des caractéristiques de la flotte de véhicules, la vitesse moyenne et les distances couvertes. Pour les déplacements domicile-travail les distances seront tirées des résultats fournis par le sous-modèle de distribution, pour les autres motifs de transport, des informations issues du module « profils de mobilité ».

Et nous terminerons ce rapport avec quelques conclusions ainsi que des perspectives pour le raffinement des différents modèles développés dans le cadre de ce projet.

Quelques annexes seront enfin consacrées à des développements plus techniques ou à des résultats plus détaillés.

1.5. Terminologie relative aux scénarios étudiés

Tout au long de ce rapport, il sera fait référence, par les différents groupes de recherche, à différents noms de scénarios. Pour faciliter la lecture du rapport et la compréhension du lecteur, nous résumons brièvement ci-dessous la signification de ces différents noms et les relations qui existent entre les différents scénarios. Une description exhaustive de chaque scénario ainsi que des relations qui les lient sera fournie dans les chapitres correspondants.

S'agissant des perspectives démographiques élaborées dans le module sociodémographique, trois scénarios démographiques sont envisagés : (1) le scénario de base (SB), (2) le scénario alternatif 1 (SA1) et (3) le scénario alternatif 2 (SA2). En ce qui concerne le module « profils de mobilité », les analyses sont menées selon trois scénarios relatifs aux caractéristiques de la population : (1) le scénario statique (SS), le scénario dynamique (SD) et le scénario « diplômes dynamiques » (SDD). Et enfin, dans les sous-modèles de distribution et environnemental, trois scénarios sont examinés qui combinent des scénarios du module sociodémographique et du module « profils de mobilité », il s'agit du scénario A0, du scénario A1 et du scénario B (voir Figure 2 ci-dessous).

Figure 2. Résumé des noms et des relations entre scénarios

Scénarios sociodémographiques : Scénarios « profils de mobilité » :	SB	SA1	SA2
SS	A0	B	
SD	A1		
SDD			

2. Le sous-modèle de génération de la mobilité

Le sous-modèle de génération de la mobilité décrit les trajets générés entre les différents arrondissements. Ce sous-modèle est en fait constitué de deux modules : (i) le module sociodémographique qui génère la population dans les différents arrondissements et (ii) le module « profils de mobilité » qui affecte à chaque groupe de population un profil de mobilité spécifique.

2.1. Le module sociodémographique

2.1.1. Les objectifs propres au GÉDAP

Dans le cadre du projet MOBIDIC, le travail du GÉDAP s'est situé en amont de celui des autres équipes de recherche. Le premier objectif du GÉDAP fut d'une part de traiter et de fournir aux équipes du GRT et du BFP des données relatives aux caractéristiques sociodémographiques de la population belge.

Ensuite, notre tâche consistait à réaliser des projections de population selon l'âge, le sexe et la position dans le ménage à l'horizon 2030. Bien que cela ne fut pas prévu dans le « cahier des charges » initial du projet, nous avons souhaité développer des scénarios alternatifs pour affiner le volet des migrations internes entre arrondissements ; ces scénarios reposant sur une analyse approfondie des tendances migratoires entre arrondissements au cours des 30 dernières années.

2.1.1.1. Traitement et diffusion de données sociodémographiques

Dans un premier temps, notre contribution consistait principalement à traiter et à diffuser des données sociodémographiques extraites du Registre National et de l'Enquête socioéconomique de 2001.

Ainsi, et à partir des données du Registre National, nous avons réalisé pour le GRT :

- les tris croisés par âge, sexe et types de ménage aux 1er janvier 1997 et 2002, pour chaque arrondissement.
- les tris croisés par âge et sexe de la personne de référence du ménage et types de ménage aux 1er janvier 1997 et 2002, pour chaque arrondissement.

Par la suite, nous avons diffusé quelques caractéristiques récentes de la population belge provenant de l'Enquête socioéconomique de 2001. Outre l'âge, le sexe et l'arrondissement de résidence, les caractéristiques traitées portaient sur le niveau d'instruction, le statut d'activité, la distance parcourue entre le domicile et le lieu de travail et le mode de transport utilisé. Ces données ont été utilisées par les équipes partenaires pour affiner ou réactualiser les paramètres de leurs modèles d'analyse, avant de disposer des résultats des projections.

2.1.1.2. Élaboration de perspectives démographiques à l'horizon 2030

Les projections réalisées sont de deux types : d'une part, individuelles, et d'autre part, par types de ménage. Les projections individuelles - scénario de base et scénarios alternatifs - ont été réalisées par le Bureau fédéral du Plan (M. Lambrecht et J-M. Paul) sur base des propositions du GÉDAP. Elles détaillent la population par sexe, âge pour chaque année entre 2002 et 2030 et pour chaque arrondissement.

Les projections par types de ménage ont été réalisées par le GÉDAP. La population fut distribuée selon le sexe et le groupe d'âge pour chaque arrondissement et par pas de 5 ans (2005, 2010 ...2030). Nous avons en outre ventilé la population en fonction d'une typologie de ménages et de positions individuelles au sein de cette unité d'observation.

Nous avons envisagé trois scénarios d'évolution démographique. Le premier, dit scénario «de base» reprend les hypothèses (mortalité, fécondité, migration) sous-jacentes au modèle de projections de population telles qu'elles ont été établies par la méthodologie des « Perspectives de population 2000-2050 » (INS/BFP). Par conséquent, l'objectif était de réactualiser au 1^{er} janvier 2002 les projections de population effectuées sur la base des observations au 1^{er} janvier 2000.

Les deux scénarios suivants dits « alternatifs », s'en distinguent non pas en tant que variantes haute et basse du scénario de base - comme cela est classiquement envisagé - mais sur la base d'évolutions variables en terme de migrations entre arrondissements.

Le premier repose sur un affaiblissement de l'émigration périurbaine au départ d'arrondissements urbains, parmi lesquels se trouvent Bruxelles et Anvers. Pour le second, le processus de périurbanisation observé en Belgique depuis ces dernières décennies se poursuit, mais avec un déplacement des populations vers des arrondissements de plus en plus éloignés des zones urbaines. Ces émigrations résidentielles plus lointaines s'expliquant par l'effet de « saturation » démographique, des parcs immobilier et foncier, qui caractérisent les arrondissements périurbains les plus proches des centres urbains.

2.1.2. Les données et la typologie de ménages

Comme nous l'avons mentionné, les données traitées et utilisées proviennent de l'Enquête socioéconomique de 2001 et surtout du Registre National.

Concernant cette dernière source, il est utile de préciser que les données relatives aux ménages ont fait l'objet d'un affinement particulier, ce qui explique pourquoi elles ne correspondent pas en tout point à celles publiées par l'INS (à partir du Registre National).

Nous avons travaillé avec une typologie relativement détaillée comprenant 8 types de ménage. Par ailleurs, il s'agit d'une typologie qui repose sur le noyau familial et non pas directement sur le ménage (un ménage pouvant compter plusieurs noyaux familiaux). Enfin, nous avons effectué des procédures de correction sur la variable « ménage », ce qui a conduit à redistribuer la population belge par types de ménage dans des volumes différents de la typologie de l'INS. Ces redistributions ont surtout porté sur les catégories de ménage « isolé » et « couple de cohabitants sans enfant » : Ainsi en 2002 et pour un même effectif total, l'INS comptabilisait 1.382.353 et 212.837 individus vivant respectivement en ménage isolé et en ménage de couple de cohabitants sans enfant ; alors que le GÉDAP en comptait respectivement 1.236.311 et 221.963 dans ces catégories.

Les 8 catégories de ménage sont les suivantes :

- personne isolée ;
- couple marié sans enfant ;
- couple marié avec enfant(s) ;
- couple de cohabitants sans enfant ;
- couple de cohabitants avec enfant(s) ;
- monoparental, c'est-à-dire d'un parent seul avec enfant(s) ;
- collectifs ;
- « autre », c'est-à-dire des ménages n'appartenant pas aux catégories précédentes.

Les ménages collectifs sont les ménages qui regroupent les individus vivant en institution, c'est-à-dire les maisons de retraite, prisons, orphelinats, congrégations religieuses...

Les ménages « autre » forment une catégorie particulière et hétérogène ; il s'agit en fait des ménages qui comptent plus d'un noyau familial. Un *noyau familial* étant composé soit d'une personne seule, soit d'un couple, soit d'un parent avec ses enfant(s), soit d'un couple avec enfant(s), c'est-à-dire la configuration rencontrée dans les 6 premières catégories de ménage.

Le choix de distinguer les couples mariés des couples de cohabitants fut motivé par le fait que ces deux catégories connaissent des évolutions *a priori* différentes. En Belgique, il existe encore très peu de données statistiques sur les unions non maritales. Néanmoins, si au début des années 1990, l'enquête Fertility and Family Survey (FFS) en Flandre a révélé le caractère encore limité des unions de cohabitants (20%), un faisceau d'indicateurs - tels que l'augmentation des naissances hors mariages, et les écarts d'âge moyen constatés entre les personnes de référence du ménage selon qu'il s'agit de couples mariés ou cohabitant - semble indiquer que ces unions augmentent rapidement au dépend des unions maritales, du moins chez les couples les plus jeunes.

Par conséquent, il nous semblait plus pertinent d'établir une distinction entre ces deux catégories pour la réalisation des projections de ménages, quitte à ce qu'elles soient par la suite regroupées en une même catégorie par les équipes partenaires.

A partir de ces ménages, nous avons défini 12 positions dans le ménage qui sont les suivantes:

- « ISO » = individu vivant en ménage isolé ;
- « CSE » = membre du couple d'un ménage de couple marié sans enfant ;
- « CAE » = membre du couple d'un ménage de couple marié avec enfant(s) ;
- « EnCAE » = enfant d'un ménage de couple marié avec enfant(s) ;
- « CoS » = membre du couple d'un ménage de couple de cohabitants sans enfant ;
- « CoA » = membre du couple d'un ménage de couple de cohabitants avec enfant(s) ;
- « EnCoA » = enfant d'un ménage de couple de cohabitants avec enfant(s) ;
- « CmMono » = personne de référence d'un ménage monoparental ;
- « EnMono » = enfants d'un ménage monoparental ;
- « COL » = personne vivant en ménage collectif ;
- « CmAut » = personne de référence d'un ménage « autre » ;
- « AuAut » = personne vivant en ménage « autre », sans en être la personne de référence.

A l'exception des ménages collectifs, cette typologie de positions dans le ménage permet de connaître le nombre de ménages privés correspondant aux 8 catégories de ménage. Par

exemple, pour connaître le nombre de ménages de couples mariés avec enfant(s), il suffit de diviser par deux le nombre total de membres de couples mariés avec enfant(s), soit l'effectif des « CAE » divisé par 2.

2.1.3. Méthodologie

La méthodologie de recherche s'est concentrée sur deux axes. D'une part, la réalisation technique des projections individuelles et de ménages et d'autre part, l'élaboration des scénarios alternatifs. Pour ce dernier point, il s'agissait notamment de cerner les tendances migratoires entre arrondissements passées de façon à définir sur cette base des nouveaux scénarios.

2.1.3.1. Les perspectives démographiques et de ménages

La réalisation de projections de ménages est un exercice relativement inédit pour les administrations publiques européennes. De même, il s'agissait d'un exercice relativement nouveau pour le GédAP, ce qui a requis un certain nombre d'adaptations et de réajustements au cours du projet, parmi lesquels le changement de logiciel.

En effet, au début du projet MOBIDIC, nous avons prévu de réaliser les projections de ménage à partir du logiciel Lipro, mais en cours de projet, nous avons préféré lui substituer un logiciel développé par nous-même. La raison principale était que Lipro nécessite un investissement très important pour en connaître et maîtriser les tenants et les aboutissants. Par ailleurs, le recours à une aide extérieure fut une entreprise particulièrement difficile et n'a pas permis de répondre à toutes nos interrogations. Enfin, les premiers exercices avec Lipro ont révélé que la taille et le degré de segmentation de notre base nécessitaient des adaptations techniques et en terme de modèle de projection, excessivement longues à acquérir et à mettre en œuvre. Par conséquent, nous avons choisi d'utiliser une application conçue, et de ce fait mieux maîtrisée, par des membres du GédAP.

Les projections individuelles

Pour les projections individuelles, le BFP a procédé à la réactualisation, à partir des observations au 1^{er} janvier 2002, des dernières projections réalisées par l'INS et le BFP (initialement pour la période 2000-2050). Toutes les informations méthodologiques relatives à cet exercice figurent dans le document *Démographie mathématique. Perspectives de population* à l'adresse suivante: http://www.statbel.fgov.be/pub/home_fr.asp#2

La méthodologie est celle dite « des composantes ». Elle consiste à faire vieillir la population année par année, et à générer simultanément des naissances et des décès. Puis dans un deuxième temps, il s'agit de générer des migrations internes et internationales (immigrations et émigrations). Outre ces événements classiques en démographie, ces projections prennent aussi en compte les naturalisations et les régularisations.

Ces divers événements sont calculés par des probabilités, elles-mêmes estimées par les observations des tendances passées au cours de périodes postérieures à 1988-89.

Pour prolonger ces tendances à plus long terme, un jeu d'hypothèses d'évolution est formulé pour chacun des paramètres. Ainsi, pour la mortalité, résumée par l'espérance de vie à la naissance (c'est-à-dire l'âge moyen au décès), l'hypothèse principale suppose, pour les

populations des 43 arrondissements, une convergence de l'indice à 88,88 ans pour les femmes et 83,90 pour les hommes à l'horizon 2050¹.

Toutes les informations relatives aux hypothèses pour la mortalité, la fécondité, les migrations internes et internationales, les naturalisations et les régularisations sont présentées en détail dans le document INS/BFP précédemment cité.

Les projections de ménage

Pour réaliser les projections de ménage, nous avons procédé en deux temps. Il s'agissait tout d'abord, de définir une typologie des ménages et ensuite de réaliser des projections par le biais du logiciel GÉDAP.

Première étape : hypothèse et réalisation technique des projections

Pour cette première étape, nous avons fait l'hypothèse d'une évolution constante des transitions de ménages (les transformations de ménages) sur la base des observations réalisées au cours de la période de référence comprise entre les 1^{er} janvier 1997 et 2002.

Cette hypothèse signifie que les probabilités de passer d'une position de ménage vers une autre sont fixes pour toute la période de projection ; en revanche, cette hypothèse n'affecte pas de valeur fixe pour les effectifs, ni pour les proportions d'individus selon la position dans le ménage.

D'un point de vue plus technique, le logiciel utilisé repose sur une mise en relation complexe de feuilles de calcul Excel, l'idée générale étant de produire une matrice de probabilités de transition que l'on rapporte à chaque population définie selon le sexe, le groupe d'âge et la position dans le ménage aux premiers janvier considérés (c'est-à-dire 2005, 2010...2030).

Cette matrice des probabilités de transition a été réalisée à partir des observations faites entre les 1^{er} janvier 1997 et 2002 : pour chaque arrondissement, nous avons calculé les probabilités de transition d'un état d'origine *i* vers un état de destination *j*, en tenant compte de l'effet d'âge (les individus vieillissent de 5 ans entre *i* et *j*), et du fait que la population est ouverte aux flux d'entrées, tels que les naissances, les immigrations venant d'autres arrondissements belges ou de l'immigration internationale, ainsi qu'aux flux de sorties, c'est-à-dire les décès, les émigrations entre arrondissements et internationales.

Tous ces flux, qu'il s'agisse d'entrées ou de sorties de la population étudiée, sont considérés comme des transitions ; si l'on prend l'exemple des entrées, cela signifie que pour une naissance ou une immigration observées en l'état *i*, la matrice des probabilités donne la distribution des probabilités pour indiquer dans quelles positions dans le ménage ces états d'origine se trouveront 5 ans après (soit en l'état *j*).

En début d'intervalle (pas de 5 ans), les individus sont répartis sous la forme d'un vecteur-colonne selon leur position d'origine (en *i*). On leur rapporte ensuite la matrice des probabilités associées pour les ventiler en fin d'intervalle dans une position de destination (en *j*) sous la forme d'un vecteur-ligne. Puis, on transpose ce vecteur-ligne pour qu'à l'intervalle de projection

¹ Plus précisément, la convergence à 88.8 ans est attendue pour les 6 ensembles d'arrondissements préalablement formés à partir des 43 arrondissements ; ce qui ne signifie pas que ce sont toutes les populations par arrondissement qui devraient atteindre ces valeurs, mais plutôt qu'elles devraient l'atteindre en moyenne, c'est-à-dire lorsqu'elles sont considérées selon l'ensemble auquel elles appartiennent.

suivant, les individus se présentent comme un nouveau vecteur-colonne pour lequel on réitère l'opération, et ainsi de suite jusqu'en 2030.

Une remarque importante : nous avons considéré que pour chaque pas de projection, il y avait un nombre fixe de naissances et d'émigrations internationales d'individus nés dans la période considérée (individus âgés de moins de 5 ans). Il s'agit pour chaque arrondissement, des naissances et des émigrations enregistrées durant la période de référence².

Seconde étape : isoler la structure par âge, sexe et par position dans le ménage pour ventiler les effectifs des projections individuelles

Dans un second temps, et compte tenu du fait que nous travaillions sur la base des effectifs apportés par les projections individuelles, nous avons extrait pour chaque pas de projection et pour chaque groupe d'âge et sexe, la répartition des positions dans le ménage, de façon à distribuer les effectifs de même âge et sexe fournis par les projections individuelles (INS/BFP) dans les positions de ménage correspondantes.

Par exemple, pour les hommes âgés de 20-24 ans en l'année 2010, nous avons extrait des projections par ménages, la répartition de ces individus selon la position dans le ménage. Puis nous avons ventilé l'effectif estimé par les projections individuelles de même sexe et groupe d'âge pour obtenir une distribution de ces individus selon leur position dans le ménage de façon qu'il y ait une cohérence avec les effectifs par âge et sexe fournis par l'INS et le BFP.

Regroupement en 3 classes d'âge

Enfin, pour les besoins spécifiques de l'équipe du BFP, nous avons dans un troisième temps regroupé la population à chaque 1 janvier 2005, 2010 ...2030 selon 3 groupes d'âge 0-17, 18-59 et 60 ans et + révolus.

Si ce regroupement ne posait aucun problème pour les projections individuelles puisque l'on disposait des projections par année d'âge, en revanche pour les projections par ménage, nous avons dû scinder le groupe des 15-19 ans en deux sous-groupes 15-17 et 18-19 ans par une interpolation linéaire. L'interpolation linéaire suppose implicitement que les décès se répartissent de manière uniforme dans l'intervalle de temps des 15-19 ans. Or, on peut considérer cette hypothèse tout à fait acceptable à ces jeunes âges. Par conséquent, l'effectif total des 15-19 ans s'est partagé pour 3/5 et 2/5 respectivement dans les premier et second sous-groupes.

La démarche pour réaliser les projections de ménage fut la même pour les trois scénarios, telle que décrite ci-dessus. Seuls les inputs, c'est-à-dire les sorties de projection individuelles que l'on ventile selon la structure de ménage, ont varié selon le scénario.

2.1.3.2. Les scénarios alternatifs : les migrations entre arrondissements

Reconstitution des tendances migratoires passées et modélisation

Les deux scénarios alternatifs ont été élaborés de manière à tenir compte au mieux des évolutions possibles en terme de migrations résidentielles entre arrondissements. Ils ne se distinguent du scénario de base qu'au niveau des migrations entre arrondissements.

² Il s'agit du nombre de naissances et d'émigrations d'enfants de moins de 5 ans, nés ou entrés en Belgique entre 1997 et 2002, et toujours présents au 1/1/2002.

Pour ce faire, nous avons reconstitué les flux migratoires entre arrondissements depuis 1954, mais en nous concentrant plus spécifiquement sur la période 1970-2001. Pour la période 1970-1990, nous ne disposons que des flux migratoires entre arrondissements. En revanche, de 1991 à 2001, ces données sont aussi disponibles selon le sexe, l'âge des migrants, le niveau d'instruction, les caractéristiques des ménages (type et taille).

Dans un premier temps, plusieurs types d'analyse furent réalisés. L'idée étant de cerner les tendances générales en tenant compte d'échelles régionales variables, et d'identifier les arrondissements les plus attractifs de ceux qui le sont le moins.

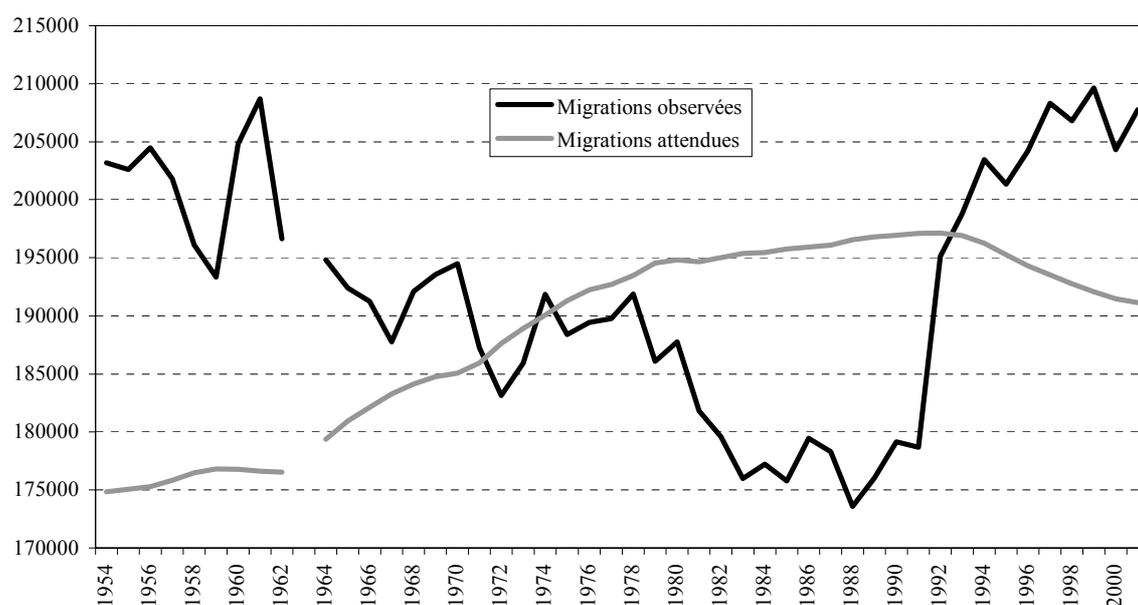
On observe pour la tendance générale une augmentation sensible du nombre de migrations entre arrondissements depuis 1990. Cette tendance est particulièrement visible si l'on représente l'évolution de l'indice standardisé de 1954 à 2001 (cf. Figure 3) – indice qui contrôle l'effectif de la population soumise au risque de migrer et de sa structure par âge³ et qui rapporte les migrations observées sur celles attendues.

En effet, la Figure 3 indique qu'au cours du dernier demi-siècle, les évolutions des migrations réellement observées et attendues sont discordantes. De 1961 à 1990, la tendance est à la baisse du nombre de mouvements entre arrondissements réellement observés, alors que, compte tenu d'une structure par âge favorable à la mobilité, on aurait dû s'attendre au contraire à un relèvement de la mobilité. Entre 1961 et 1990, la propension à migrer a diminué de 28 %. Cette baisse de l'intensité de la mobilité n'est pas propre à la Belgique, cette tendance a également été observée en France et aux Pays-Bas. Néanmoins, les éléments d'explication de cette diminution de la mobilité restent malaisés à décoder.

Enfin, à partir du début des années 1990, la situation s'inverse : d'un côté, les migrations attendues diminuent, alors que l'on constate une augmentation très rapide du nombre de migrations entre arrondissements réellement observées. Il y a donc, au cours de la dernière décennie une rupture de tendance très nette; aujourd'hui, l'intensité de la mobilité entre arrondissements a quasiment rejoint le niveau observé en 1964.

³ On calculera d'abord les migrations attendues en multipliant la structure par âge estimée annuellement par une série standard de taux de migration par âge (le standard est ici la série de taux par âge observée en 1992). On obtient ainsi un nombre de migrations internes attendues pour chaque groupe d'âges, et leur somme correspond au nombre total de migrations attendues par année. Par une règle de trois, cette somme est ramenée à la valeur 1 pour l'année 1954. On procédera de même en ce qui concerne les migrations observées. Le rapport entre les indices de migrations observées et les indices de migrations attendues fournit un indice standardisé de mobilité générale qui prend en considération l'évolution du chiffre de la population et de la structure par âge.

Figure 3. Evolution des migrations entre arrondissements observées et attendues de 1954 à 2001



À l'échelle des arrondissements, certains indicateurs comme le rapport des flux inter et intra régionaux - qui rapportent la propension à quitter sa région de résidence sur celle de migrer à l'intérieur de celle-ci - a permis de mettre en évidence un effet de frontière entre les régions wallonne et flamande.

Dans une seconde phase, et sur la base de l'analyse des tendances migratoires, nous avons construit un modèle gravitaire de façon à prendre en compte simultanément plusieurs paramètres comme l'impact de la distance (et de manière plus générale la configuration spatiale), la taille de la population de ces entités spatiales, l'effet de la frontière linguistique.

Par ce modèle, le but n'est pas d'expliquer « au mieux » la variabilité des flux, mais plutôt de s'affranchir de cette variabilité en contrôlant la taille des populations soumises au risque et, autant que faire ce peut, de la topologie des zones.

Dans sa forme générale, ce modèle prend en compte la distance entre « i » et « j » et les populations respectives, et se présente sous la forme suivante :

$$F_{i,j} = \hat{F}_{i,j} + \varepsilon_{i,j} \text{ avec } \hat{F}_{i,j} = f(P_i, P_j, D_{i,j})$$

et où :

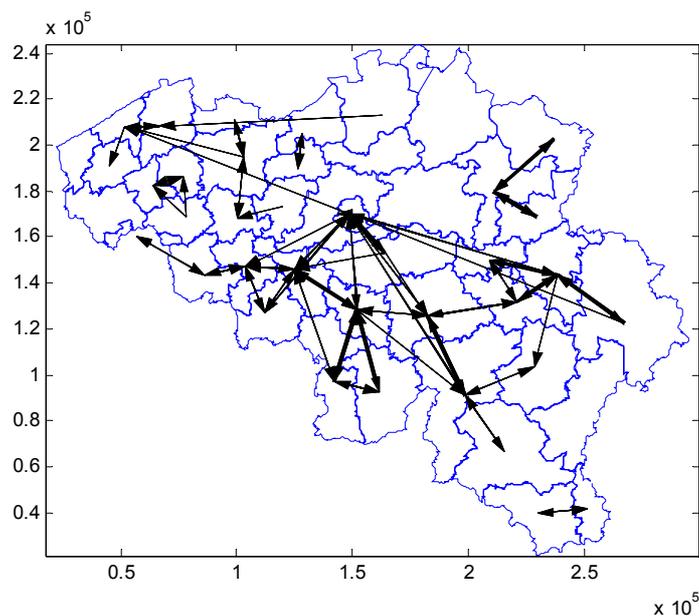
- $F_{i,j}$ est le total des flux observés entre « i » et « j »,
- $\hat{F}_{i,j}$ est le total des flux estimés entre « i » et « j »,
- $\varepsilon_{i,j}$ est le terme d'erreur
- P_i est la population de la zone « i »,
- P_j est la population de la zone « j »,
- $D_{i,j}$ est la mesure de la proximité de « i » et de « j ».

Puis, en prenant comme référence un modèle gravitaire strictement aléatoire pour comparer la qualité d'ajustement des modèles, nous avons testé plusieurs modèles intégrant successivement les paramètres de la population soumise au risque de migrer, le frein de la distance, la contiguïté entre arrondissements et l'existence d'une ou plusieurs frontières.

L'un des modèles les plus satisfaisants, à l'échelle des 43 arrondissements, comprend l'intégration de tous les paramètres, avec la prise en compte d'une frontière. À partir de ce modèle, l'analyse des résidus positifs et négatifs⁴ par paire d'arrondissements (cf. Figure 4 et Figure 5) permet de conclure à l'imperméabilité de la frontière linguistique : en effet, peu de résidus positifs la traversent et la plupart des interactions ont lieu au sein de régions linguistiquement homogènes (exception faite d'un résidu relativement élevé entre l'arrondissement de Verviers et celui d'Ostende). La présence de ces résidus indique une forte intégration entre les arrondissements qui entrent en jeu : c'est le cas pour les arrondissements de la province de Liège et ceux de la province du Hainaut. Il en est de même pour la province du Limbourg qui est « isolée » du reste de la Flandre.

Pour ce qui concerne les résidus négatifs, ils reflètent de même une forme « d'opposition » entre les régions flamande et wallonne, et la frontière linguistique y apparaît clairement. De manière générale, on observe que la mobilité résidentielle entre arrondissements est plus élevée en Wallonie qu'en Flandre.

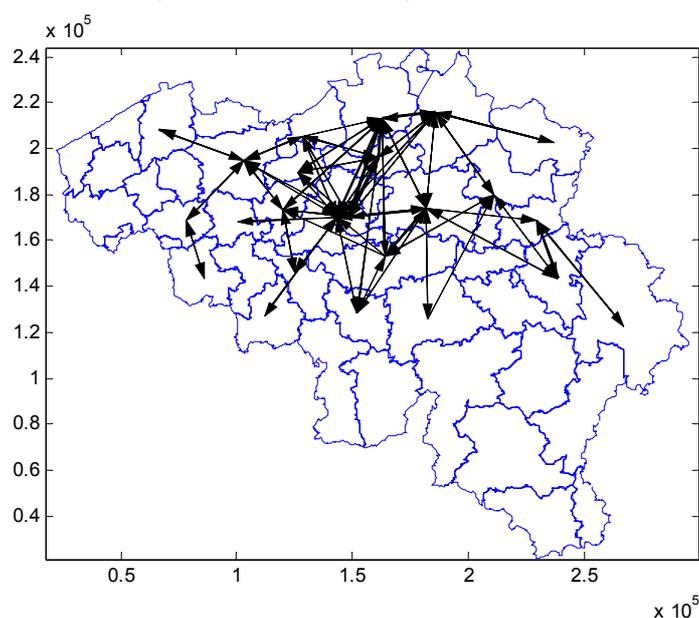
Figure 4. Les résidus positifs (en 2002)



En gras $F_{ij} - \hat{F}_{ij} > 700$, en fin $700 > F_{ij} - \hat{F}_{ij} > 200$

⁴ Un résidu positif signifie que l'interaction observée est supérieure à celle à laquelle on pourrait s'attendre si le modèle s'accordait parfaitement avec les observations, et inversement pour un résidu négatif.

Figure 5. Les résidus négatifs (en 2002).



En gras $F_{ij} - \hat{F}_{ij} < -700$, en fin $-700 < F_{ij} - \hat{F}_{ij} > -200$

L'élaboration des scénarios alternatifs

Les trois scénarios, élaborés dans le cadre de cette étude, reposent chacun sur une hypothèse différente en terme d'évolution des migrations périurbaines, et s'articulent sur la base d'une typologie des arrondissements, selon qu'ils sont définis comme urbains, périurbains ou ruraux. À chacune de ces trois catégories est associé un calendrier des émigrations, c'est-à-dire des taux d'émigration par âge. Soulignons que cette typologie pourra être modifiée selon le scénario adopté, mais le calendrier attribué à un arrondissement reste le même quel que soit le scénario. En d'autres termes, si par exemple, l'arrondissement de Ath est considéré comme un arrondissement « rural » dans le scénario de base, nous verrons qu'il change de catégorie avec l'un des scénarios alternatif (SA2) pour devenir « périurbain », mais son calendrier d'émigration demeure celui du scénario de base, c'est-à-dire celui d'un arrondissement rural.

Au départ des perspectives réalisées en 2002 au niveau des arrondissements par l'INS et le BFP, quatre arrondissements urbains furent identifiés :

- Anvers ;
- Bruxelles ;
- Charleroi ;
- Liège ;

Pour chacun de ceux-ci, des arrondissements périurbains furent identifiés, soit pour :

- Anvers : Saint-Nicolas ;
- Bruxelles : Malines, Hal-Vilvorde, Louvain, Nivelles, Alost, Termonde, Charleroi, Soignies, Waremme et Namur ;
- Charleroi : Thuin et Philippeville ;
- Liège : Huy, Verviers (partie francophone), Waremme, et l'ensemble de la communauté germanophone.

Le reste des arrondissements est considéré comme ruraux.

Le scénario de base (SB) reprend les hypothèses des perspectives de population 2000-2050, mais en démarrant au 01/01/2002. L'hypothèse principale étant la continuité, à savoir le maintien des taux d'émigration d'un arrondissement vers un autre à leurs niveaux actuels et en conservant la même distribution par groupes d'âge.

Le premier scénario alternatif (SA1) pose l'hypothèse d'une diminution de l'émigration au départ des arrondissements urbains. Tout en conservant le même regroupement des arrondissements que celle utilisée dans le scénario de base.

La hausse des prix des produits pétroliers, l'augmentation des prix de l'immobilier et du foncier, ainsi que la saturation des espaces habitables sont susceptibles d'entraîner chez les individus une volonté de diminuer la longueur des déplacements vers le lieu de travail, et peut pousser certains ménages à rester en ville au lieu de partir vers les communes périurbaines. La dimension économique venant en quelque sorte contraindre le choix résidentiel de ces ménages. Ce phénomène n'est pas une simple hypothèse puisque la crise des produits pétroliers dans les années 1970 avait produit ce type de comportement.

Les rythmes de cette baisse et leur ampleur survenue à la fin des années 70 furent très différents d'un arrondissement urbain à l'autre : Bruxelles 1977-1984 (7 années), Anvers 1978-1988 (10 années), Charleroi 1978-1991 (13 années) et Liège 1978-1991 (13 années).

Aussi, a-t-on reproduit le même rythme de baisse (même ampleur) observée pour chaque arrondissement en ajoutant l'hypothèse d'un plafonnement une fois le niveau le plus bas, observé entre 1975 et 1991, atteint ou une fois la durée de la baisse observée parcourue. On a ainsi obtenu une série de coefficients à appliquer annuellement au nombre d'émigrants au départ de chaque arrondissement urbain (cf. Tableau 1).

Dans cette hypothèse, la distribution par âge et la répartition spatiale des émigrants entre les arrondissements d'accueil demeuraient inchangées.

Figure 6. Evolution du nombre d'émigrants dans quelques arrondissements pour la période 1970-2001 (1970 = base 100)

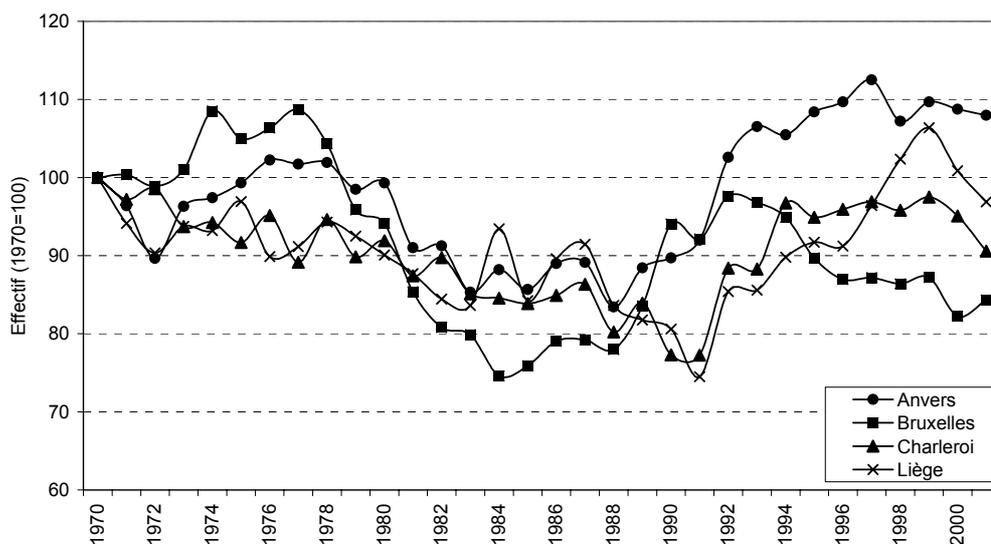


Tableau 1. Coefficients appliqués dans le scénario alternatif 1 à partir de 2002

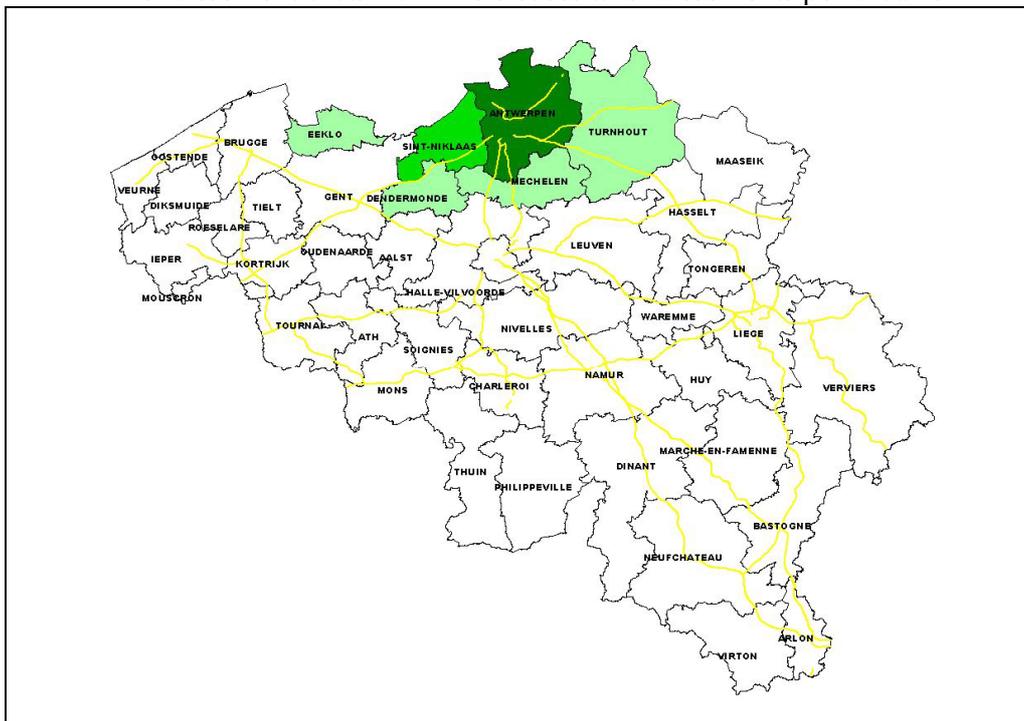
	Anvers	Bruxelles	Charleroi	Liège
1999	1,000	1,000	1,000	1,000
2000	0,966	0,972	0,956	0,985
2001	0,974	0,900	0,984	0,964
2002	0,899	0,891	0,935	0,949
2003	0,895	0,813	0,967	0,920
2004	1,000	0,773	0,924	0,917
2005	1,000	0,770	0,922	1,000
2006	1,000	0,721	0,919	0,926
2007	1,000	1,000	0,934	0,987
2008	1,000	1,000	0,951	1,000
2009	1,000	1,000	0,885	0,923
2010	1,000	1,000	0,926	0,904
2011	1,000	1,000	0,851	0,889
2012	1,000	1,000	0,849	0,819

Le second scénario alternatif (SA2) pose l'hypothèse d'une extension du phénomène périurbain. La périurbanisation s'étend progressivement. Certains arrondissements, surtout ceux autour de Bruxelles comme Hal-Vilvorde, Louvain et Nivelles, sont progressivement saturés ce qui oblige les émigrants urbains à s'établir plus loin.

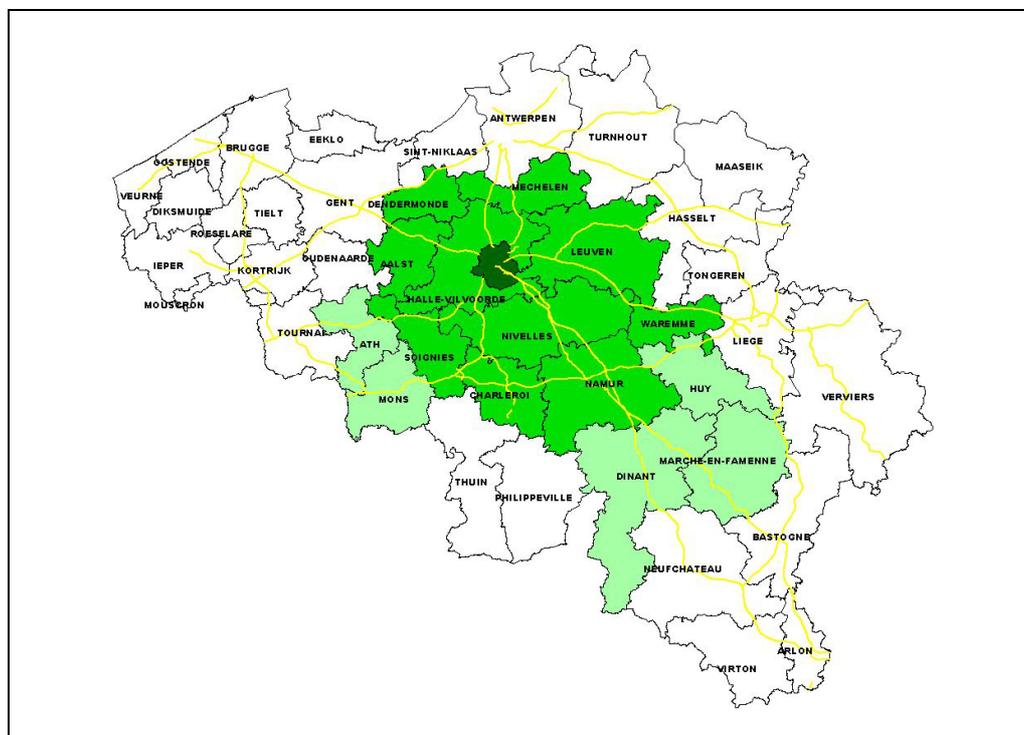
Afin d'identifier les nouveaux arrondissements périurbains, on a examiné la part des flux accueillie par chaque arrondissement non périurbain selon l'arrondissement urbain de départ. De cette manière, on a pu retenir les arrondissements recevant plus de 3% des émigrants originaires des arrondissements urbains et ceux pour lesquels on observait une hausse importante. Ces nouveaux arrondissements périurbains sont indiqués dans la teinte la plus claire, en vert clair sur les cartes suivantes (cf. Figures 7).

Figures 7. Cartes des arrondissements urbains et périurbains

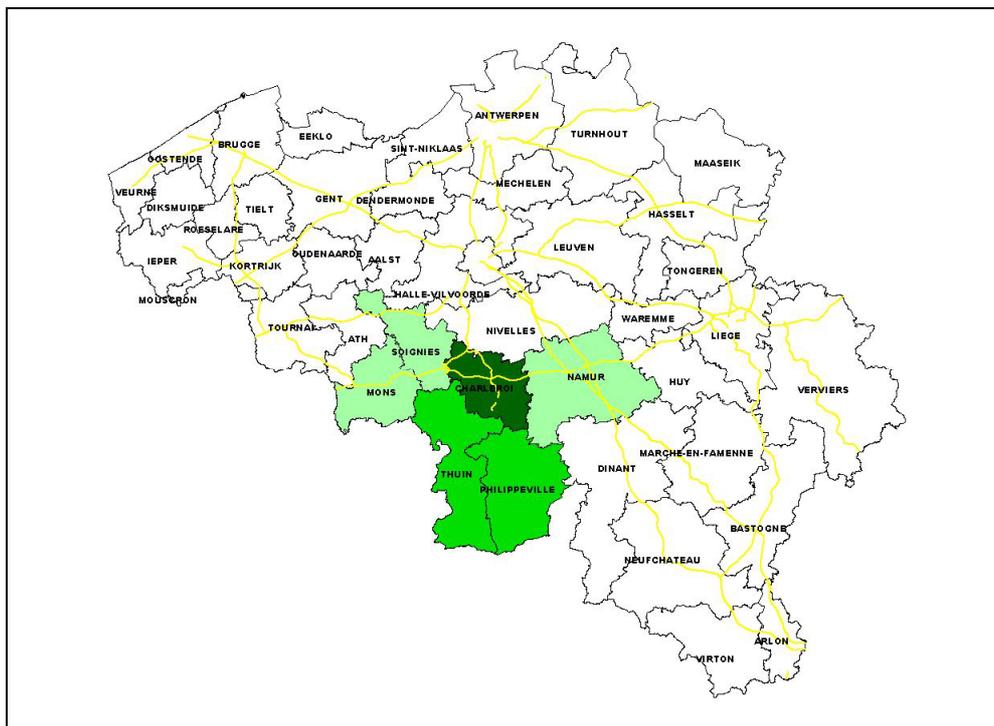
Arrondissement urbain d'Anvers et ses arrondissements périurbains



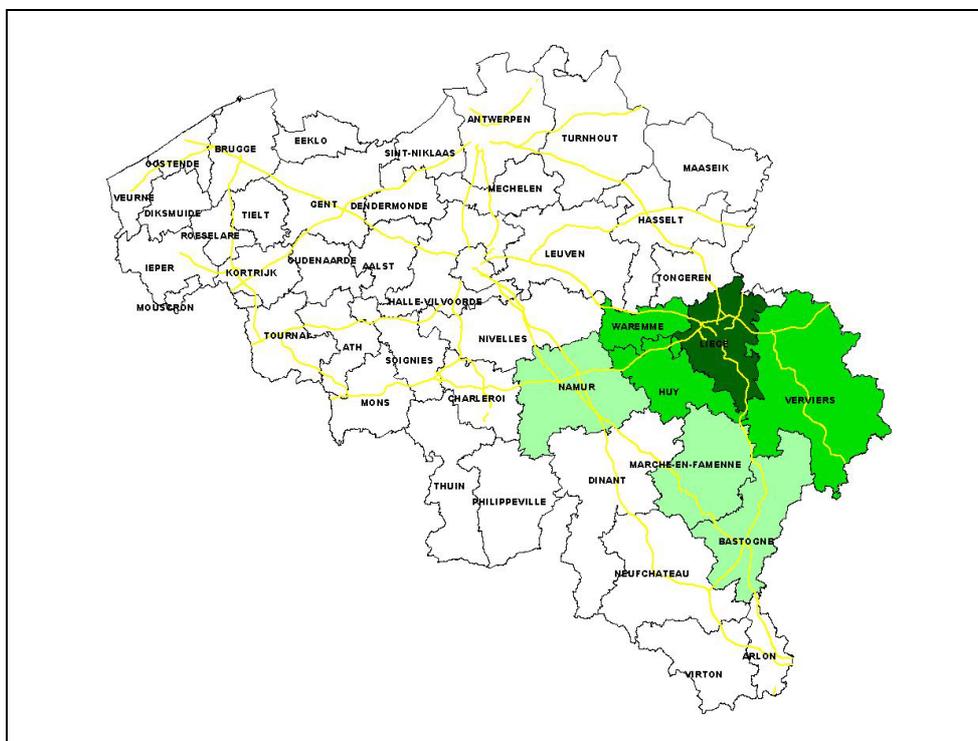
Arrondissement urbain de Bruxelles-Capitale et ses arrondissements périurbains



Arrondissement urbain de Charleroi et ses arrondissements périurbains



Arrondissement urbain de Liège et ses arrondissements périurbains



La définition de nouveaux arrondissements périurbains signifie que pour le SA2 la distribution des arrondissements a relativement changé entre les catégories périurbaines et rurales. Ainsi avec ce dernier scénario, Ath, Mons, Huy, Marche-en-Famenne et Dinant deviennent des arrondissements périurbains de Bruxelles.

Dans l'ensemble pour le SA2, on peut conclure que les flux d'émigrants au départ des arrondissements urbains restent inchangés par rapport au scénario de base. Seulement, sous l'effet de la « saturation démographique » des arrondissements traditionnellement périurbains, le volume des flux d'émigration fut redistribué vers des arrondissements plus périphériques *i.e.* les nouveaux arrondissements périurbains. Pour cela, nous avons tout d'abord estimé ces flux en faisant la différence des flux d'émigrations générés par le scénario de base et l'alternatif 1. Puis, cette différence fut ventilée entre les nouveaux lieux de résidence au *pro rata* des mouvements observés dans ce scénario entre Bruxelles et ces destinations.

2.1.4. Quelques résultats

L'objectif ici n'est pas de procéder à une analyse détaillée des caractéristiques démographiques de la population des différents arrondissements à l'horizon 2030, selon les scénarios proposés. Il s'agit plus simplement de vérifier l'impact – et par extension la pertinence - de ceux-ci sur l'évolution du chiffre de population, de la structure par âge et de la répartition de la population selon le type de ménage pour quelques cas-types. Il s'agit des arrondissements urbains de Bruxelles-Capitale et de Anvers, des arrondissements périurbains de Nivelles et de Malines et de l'arrondissement « rural » de Ath⁵.

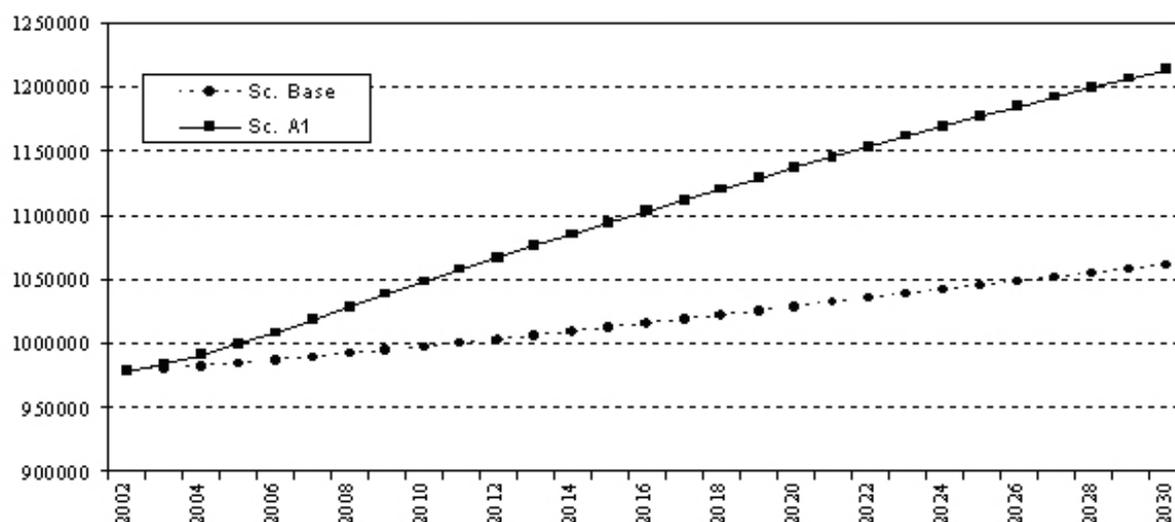
Pour Bruxelles-Capitale et Anvers, la comparaison porte sur le scénario de base et sur le scénario alternatif 1 (diminution de l'émigration urbaine). Pour Nivelles, la confrontation concerne les deux mêmes scénarios, alors que pour Ath et Malines, les trois scénarios sont pris en considération.

2.1.4.1. L'impact des scénarios alternatifs sur l'évolution de la population

En termes de chiffre de population, l'impact des différents scénarios est loin d'être négligeable. Dans le cas de Bruxelles (*cf.* Figure 8), les deux scénarios considérés prédisent une croissance future de la population, mais à des rythmes bien différents. Ainsi, en 2030, selon le scénario de base, la population de l'arrondissement de Bruxelles-Capitale s'élèverait à 1.061.000 personnes, alors qu'en cas de diminution des émigrations urbaines, ce chiffre serait de 1.213.000 habitants, soit une différence de 153.000 personnes (ou 14%) entre les deux scénarios. Autre clé de lecture : selon le scénario de base (SB), entre 2002 et 2030, la population de l'arrondissement de Bruxelles augmenterait de 8,4%, alors que selon le scénario alternatif 1 (SA1), la croissance serait de 24,0%.

⁵ Typologie d'arrondissements sur la base du scénario de base.

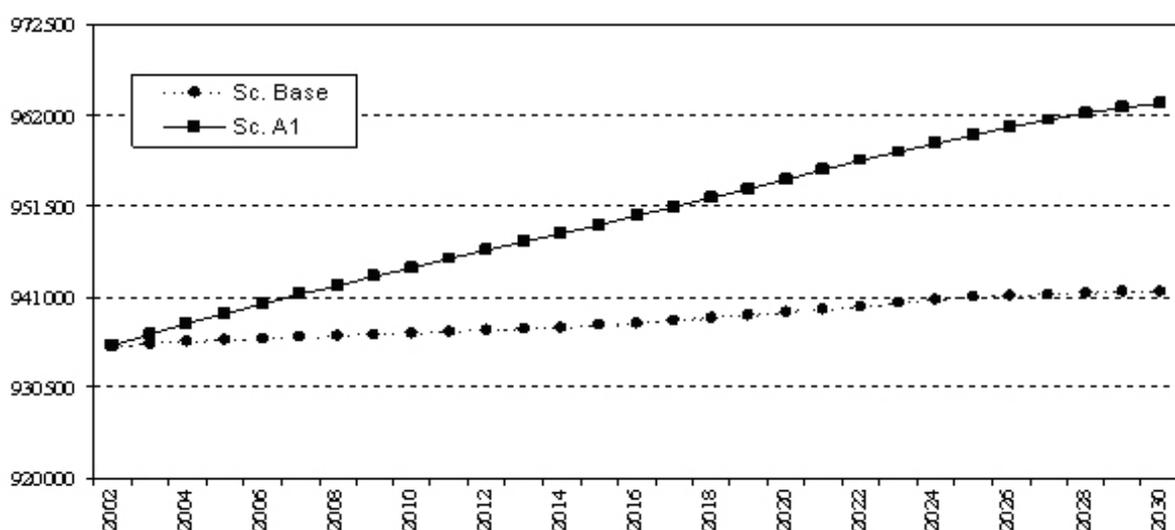
Figure 1. L'évolution de la population de l'arrondissement de Bruxelles-Capitale selon le scénario de base et le scénario alternatif 1



Anvers, autre arrondissement urbain, enregistre de même une augmentation de sa population entre 2002 et 2030 quel que soit le scénario considéré (cf. Figure 9). Cependant, et contrairement à Bruxelles, on ne distingue pas de différence vraiment significative en terme d'augmentation entre les SB et SA1.

En effet, avec plus de 935 000 résidents en 2002, la population d'Anvers augmenterait d'à peine 1% en 2030 avec le SB (soit 941 539 résidents), et de seulement 3% dans le cas du SA1, soit 963 434 ce qui correspond à un gain d'environ 22 000 individus par rapport au scénario de base.

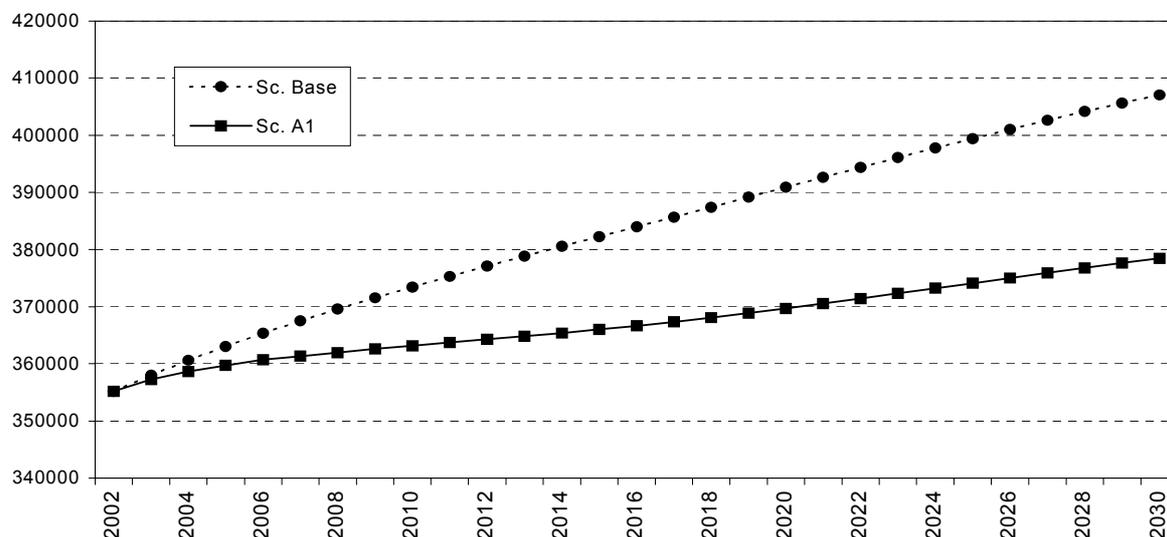
Figure 2. L'évolution de la population de l'arrondissement de Anvers selon le scénario de base et le scénario alternatif 1



Pour l'arrondissement périurbain de Nivelles (cf. Figure 10), l'impact des deux scénarios est inversé ; la diminution des émigrations urbaines atténuant logiquement la croissance démographique de cet arrondissement. Selon le SB, la population de l'arrondissement de Nivelles atteindrait 407.000 habitants en 2030. Mais, ils ne seraient plus que 378.000 en cas de ralentissement des émigrations urbaines (SA1), soit un « déficit » de près de 29.000 personnes

(-7%). Selon le scénario de base, le nombre d'habitants de cet arrondissement périurbain augmenterait de 14,6% entre 2002 et 2030, alors que cette croissance n'est que de 6,6% dans le cas du SA1.

Figure 10. L'évolution de la population de l'arrondissement de Nivelles selon le scénario de base et le scénario alternatif 1



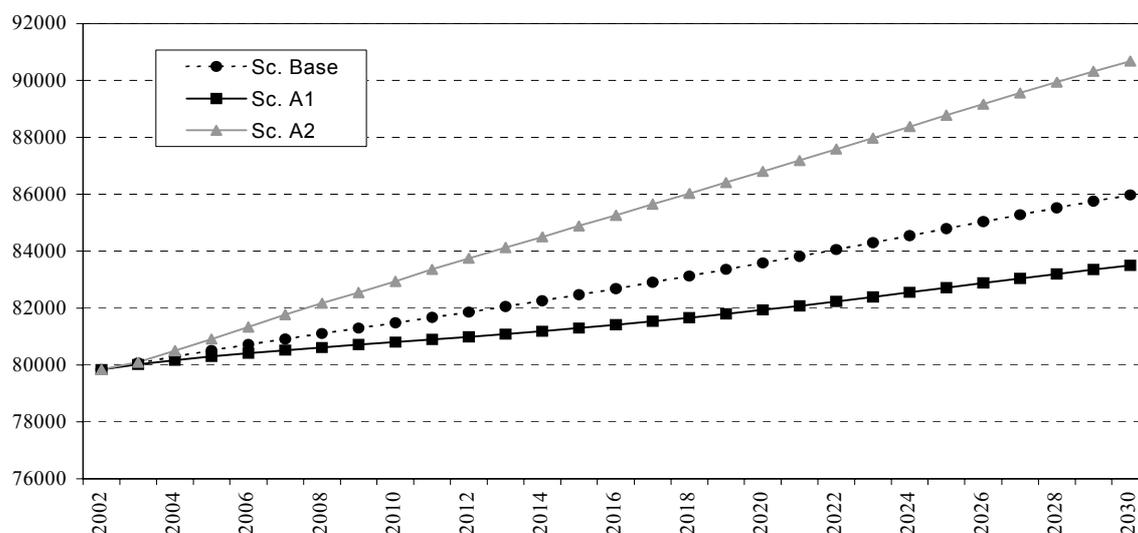
Pour les arrondissements de Ath et de Malines, l'analyse en fonction des scénarios doit prendre en compte le fait que le caractère rural ou périurbain d'un arrondissement dépend d'un arrondissement urbain de référence (cf. Figures 7).

Ainsi, Ath est un arrondissement rural dans les deux premiers scénarios (SB et SA1), mais il devient un nouvel arrondissement périurbain vis-à-vis de Bruxelles avec le SA2.

De même, Malines est un arrondissement périurbain au départ de Bruxelles dans les deux premiers scénarios (SB et SA1), puis il devient un nouvel arrondissement périurbain vis-à-vis d'Anvers avec le SA2.

Pour l'arrondissement de Ath, nous avons comparé l'impact des trois scénarios (cf. Figure 11). Celui-ci apparaît nettement : si le chiffre de population projeté en 2030 par le scénario de base est de 86.000 habitants, il grimperait à près de 91.000 habitants en cas d'extension de la périurbanisation (SA2), mais il retomberait à moins de 83.500 personnes si l'émigration urbaine se tarit (SA1). En d'autres termes, une extension de la périurbanisation ferait progresser l'effectif de population de près de 14 % d'ici 2030, alors que si rien ne change (SB), la croissance serait inférieure à 8 %. Le ralentissement pourrait être encore plus net (+ 4,6%) si les arrondissements urbains parviennent, dans l'avenir, à davantage retenir leur population.

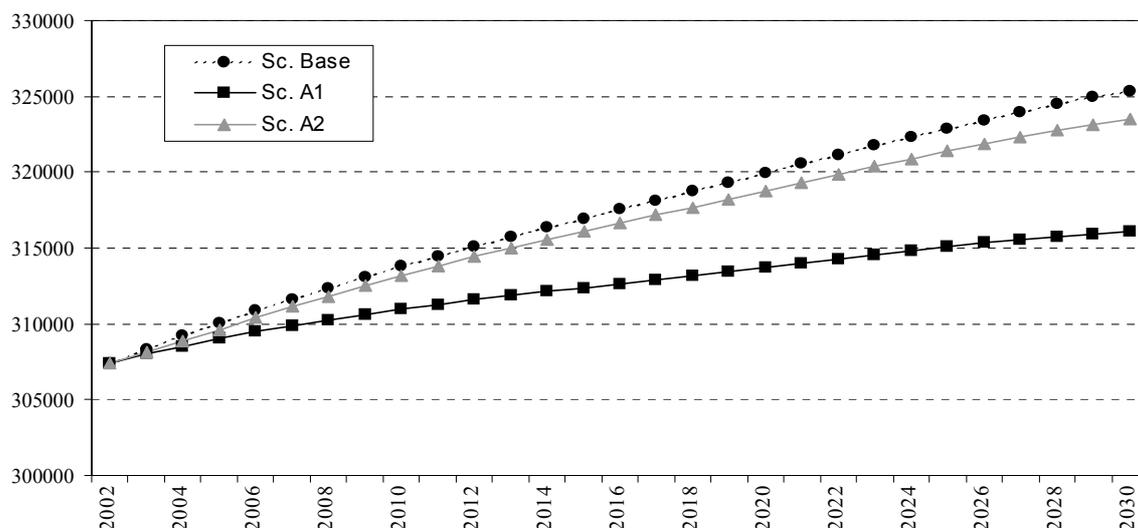
Figure 11. L'évolution de la population de l'arrondissement de Ath selon le scénario de base, le scénario alternatif 1 et le scénario alternatif 2



Pour Malines en revanche, la situation est plus mitigée. On le perçoit dans son évolution démographique (cf. Figure 12): avec une population d'environ 307.000 résidents en 2002, le gain démographique en 2030 est le plus important avec le scénario de base (+6%), tandis que sa population pourrait s'accroître de 2 à 5% respectivement selon les scénarios alternatifs 1 et 2.

On pourrait s'attendre à des gains plus importants notamment avec le SA2, grâce auquel Malines bénéficierait d'un plus grand nombre d'émigrants originaires d'Anvers. Mais de fait, ce faible gain comparativement aux autres arrondissements, périurbain (Nivelles) et nouvellement périurbain (Ath), tient au caractère hétérogène de Malines. Certes, en devenant un arrondissement de périurbanisation nouvelle au départ d'Anvers (avec le SA2), il bénéficie d'une part des émigrations urbaines allouées traditionnellement à l'arrondissement de Saint-Nicolas. Mais, la croissance relativement faible de Malines avec le SA1, démontre bien qu'il s'agit d'un arrondissement principalement périurbain au départ de Bruxelles : si Bruxelles diminue ces émigrations, Malines perd de façon très nette le bénéfice des émigrants urbains (SA1) ; si les émigrants de Bruxelles sont plus nombreux à s'établir vers des arrondissements plus périphériques - notamment à Ath, et de façon plus générale en Wallonie - Malines perd à nouveau une partie des émigrants urbains au départ de Bruxelles, et cela, sans que cette perte soit compensée par l'arrivée de nouveaux émigrants au départ d'Anvers (SA2).

Figure 12. L'évolution de la population de l'arrondissement de Malines selon le scénario de base, le scénario alternatif 1 et le scénario alternatif 2



2.1.4.2. L'impact des scénarios alternatifs sur la répartition de la population par groupes d'âge

Le tableau 2 ci-dessous présente pour chacun de nos arrondissements-types, et selon le scénario considéré, la valeur de l'âge moyen de la population en 2030. L'âge moyen est un indicateur synthétique classique du vieillissement démographique. De prime abord, les différences selon les scénarios paraissent faibles, puisque les situations « extrêmes », sont de l'ordre de 0,5-0,6 année. Or, en moyenne, la population de la Belgique vieillit d'une année tous les dix ans. En d'autres termes, une différence d'une demi année d'âge moyen, par rapport au scénario de base, pourrait être interprétée comme un gain ou un déficit de 5 années en terme de vieillissement démographique par rapport au scénario de base.

Tableau 2. L'âge moyen de la population des arrondissements en 2030 selon les différents scénarios

Age moyen (année)	Bruxelles	Anvers	Nivelles	Ath	Malines
Scénario de base	40,9	44,1	42,6	43,4	45,5
Scén. A1	40,4	44,0	43,0	43,6	45,8
Scén. A2	-	-	-	43,0	45,6

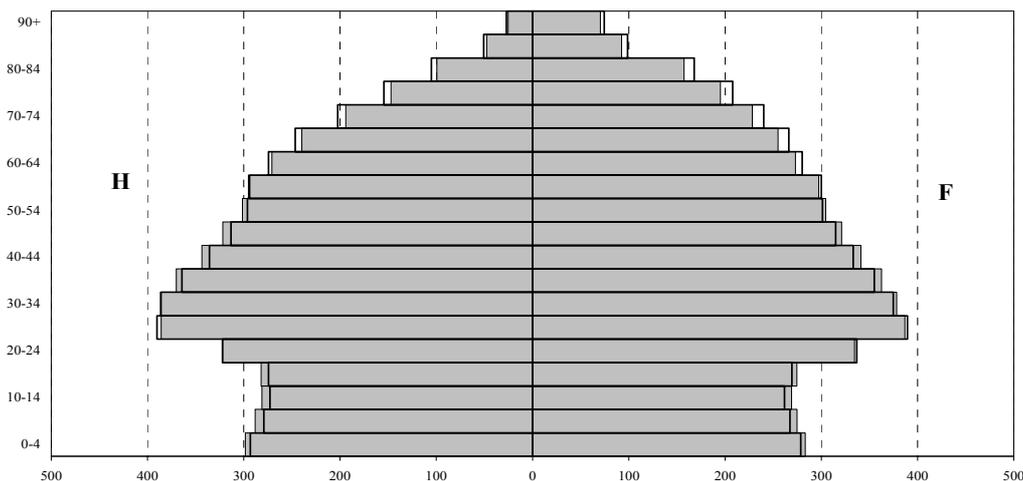
Prenons le cas de Bruxelles-Capitale (cf. Figure 13). Une diminution des émigrations de Bruxelles aurait pour effet (par rapport au scénario de base) de ralentir le processus de vieillissement démographique. Entre les deux scénarios envisagés, on observerait en 2030 une différence de 0,5 année d'âge moyen. Comment se répercute cette différence sur la répartition de la population par groupes d'âge ? Comme l'illustre la Figure 13, si on parvient à réduire l'émigration des arrondissements urbains, on observerait logiquement⁶ davantage de personnes

⁶ Les principaux acteurs de la périurbanisation, donc de l'émigration hors des agglomérations urbaines, sont les couples âgés de 30-44 ans et leur(s) enfant(s) de moins de 15 ans.

âgées de 30-54 ans et leur(s) enfant(s) de moins de 20 ans, alors que les personnes âgées de plus de 60 ans seraient moins bien représentées.

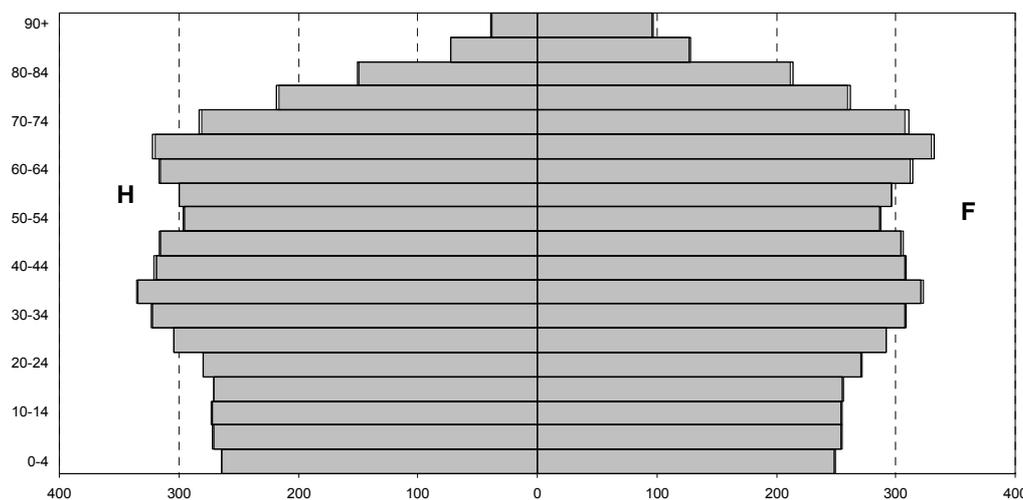
À Anvers, on constate plutôt une forte inertie de la structure par âge. L'âge moyen ne varie pas compte tenu d'une évolution démographique relativement stable sur la période 2002-2030, les pyramides issues des scénarios de base et alternatif 1 ne se distinguent pas (cf. Figure 14).

Figure 13. La pyramide des âges de la population de l'arrondissement de Bruxelles-Capitale en 2030 selon le scénario de base et le scénario alternatif 1



En trait fin, fond grisé : scénario alternatif 1.
En trait épais, fond transparent : scénario de base

Figure 14. La pyramide des âges de la population de l'arrondissement de Anvers en 2030 selon le scénario de base et le scénario alternatif 1.



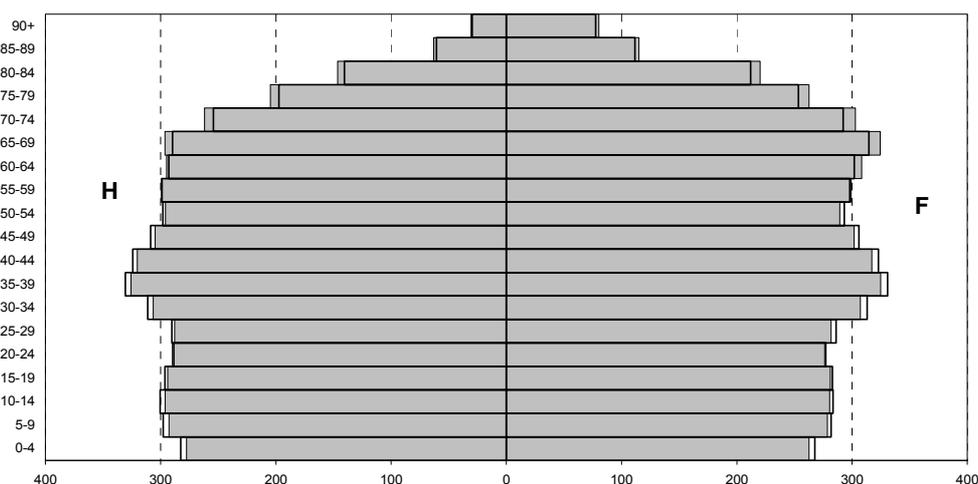
En trait fin, fond grisé : scénario alternatif 1.
En trait épais, fond transparent : scénario de base

Dans le cas de l'arrondissement de Nivelles (cf. Figure 15), le ralentissement de l'émigration urbaine simulé par le SA1 – et donc moins d'arrivées de couples avec enfant(s) – devrait accélérer le vieillissement de la population. Par rapport au scénario de base, le scénario

alternatif 1 prévoit à l'horizon 2030 un âge moyen supérieur de 0,6 année. Cette différence se répercute sur la structure par âge de la population par une légère sous-représentation des groupes d'âges adultes et de leurs enfants et par une sur-représentation plus marquée des personnes âgées de plus de 60 ans.

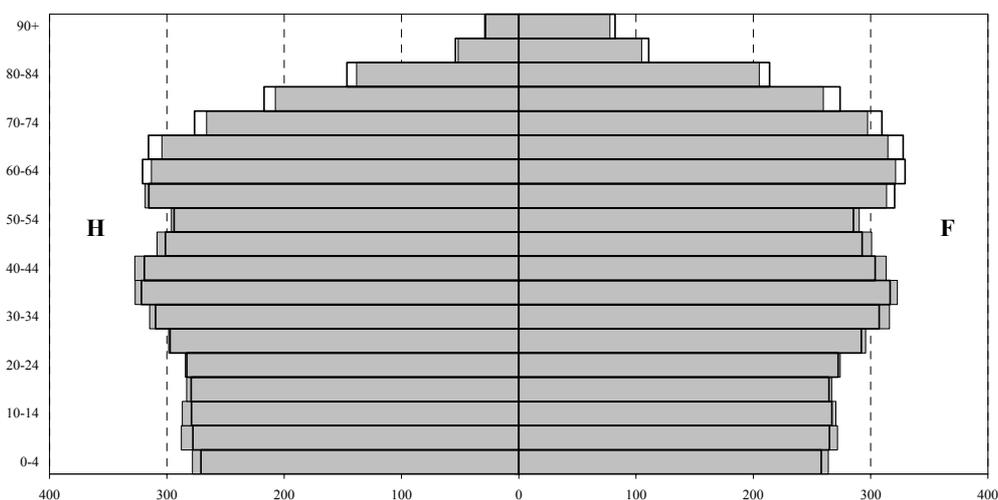
Dans l'arrondissement de Ath (cf. Figure 16), une augmentation de la migration périurbaine (SA2) pourrait ralentir le vieillissement démographique, alors qu'une diminution des sorties des arrondissements urbains (SA1) aurait l'effet contraire (accélération du vieillissement).

Figure 15. La pyramide des âges de la population de l'arrondissement de Nivelles en 2030 selon le scénario de base et le scénario alternatif 1



En trait fin, fond grisé : scénario alternatif 1.
En trait épais, fond transparent : scénario de base

Figure 16. La pyramide des âges de la population de l'arrondissement de Ath en 2030 selon les scénarios alternatifs 1 et 2

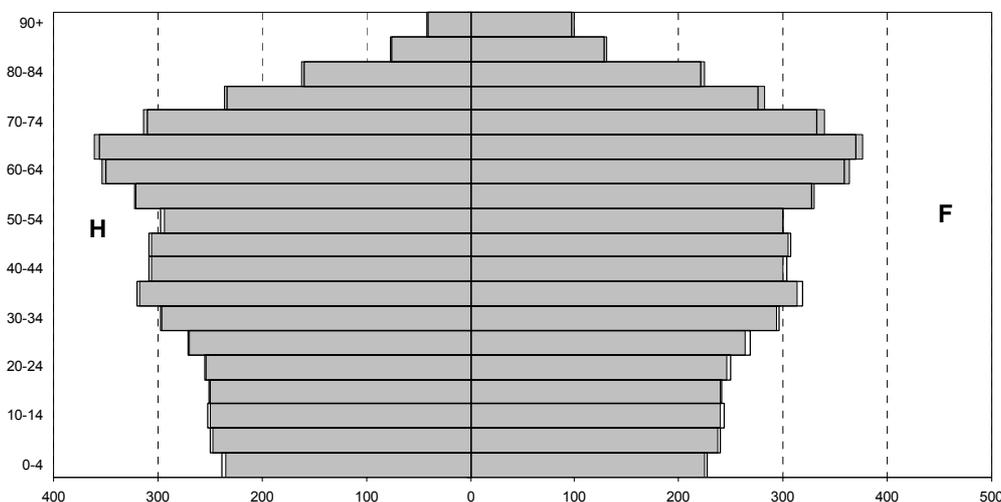


En trait fin, fond grisé : scénario alternatif 2.
En trait épais, fond transparent : scénario alternatif 1

Enfin, et à l'instar de l'arrondissement d'Anvers, la structure par âge de la population de Malines ne semble pas « affectée » de manière significative par les scénarios. En effet, si l'on considère les scénarios de base et alternatif 1, qui présentent les plus grands écarts en terme d'évolution démographique, on observe une forte inertie de la structure par âge, confirmée par un âge

moyen en 2030 stable entre les scénarios (cf. Figure 17). Ce que l'on peut remarquer est que le SA1 accélère légèrement le processus de vieillissement à Malines, en attribuant une proportion de personnes âgées de 60 ans et plus un peu plus importante que dans le SB.

Figure 17. La pyramide des âges de la population de l'arrondissement de Malines en 2030 selon les scénarios de base et alternatifs 1



En trait fin, fond grisé : scénario alternatif 1.
En trait épais, fond transparent : scénario de base

2.1.4.3. L'impact des scénarios alternatifs sur les effectifs par types de ménage

En terme de ménage, rappelons que les trois scénarios sont basés sur une répartition des individus selon la position dans le ménage qui est constante dans chaque arrondissement (cf. 2.1.3.1. Les perspectives démographiques et de ménages). De plus, dans la mise en œuvre des projections, les 3 types de calendriers des émigrations demeurent constants quel que soit le scénario (cf. 2.1.3.2. Les scénarios alternatifs : les migrations entre arrondissements). Par conséquent, la comparaison des scénarios ne permet pas de mettre en évidence un effet direct de leur part sur l'évolution des structures par ménage.

Si l'on considère plutôt les effectifs par types de ménage, nous pouvons cependant présenter quelques résultats qui soulignent, selon les scénarios, des évolutions assez contrastées sur la période 2005-2030. Mais il s'agit-là d'un effet indirect des scénarios sur les positions dans le ménage *via* la structure par âge puisque celles-ci varient selon l'âge⁷. Par conséquent, cette analyse vise à présenter des tendances générales, en privilégiant notamment l'évolution des individus vivant en ménages isolés et composés de couples avec enfant(s) ; soit les catégories de ménages les plus concernées par les migrations entre zones urbaines et périurbaines.

La Figure 18 présente les proportions d'individus vivant dans quatre catégories de ménage selon le scénario de base en 2030 (on n'a pas tenu compte des ménages « autres » et des personnes vivant en ménage collectif qui représentent ensemble moins de 10% des ménages). Dans les cinq arrondissements, les résidents sont les plus nombreux à vivre en couples avec enfant(s) : ils sont au minimum 40% (parmi les ménages considérés) à Bruxelles, et atteignent près de 50% à Nivelles. Les couples sans enfant forment environ 20-25% des ménages considérés à Bruxelles

⁷ Par exemple, chez les 0-4 ans révolus, on observe de façon attendue des positions dans le ménages relatives au statut d'enfant tels qu'un enfant vivant avec ses parents mariés, ou bien cohabitant ou bien avec un seul parent ; et, à l'inverse, on observe très peu d'individus âgés de 50 ans et plus appartenant à ces catégories.

et dans les deux arrondissements wallons, mais ils sont un peu plus fréquents dans les deux arrondissements flamands avec respectivement 29 et 31 % à Anvers et à Malines.

Enfin, la fréquence des ménages d'isolés et de familles monoparentales varie plus fortement selon l'arrondissement : les familles monoparentales représentent environ 10% de ces ménages, à l'exception de Bruxelles où ils atteignent 13%. Les ménages isolés sont de même les plus nombreux en proportion à Bruxelles-Capitale avec près d'un ménage sur quatre. Ils ne sont que 14%-15% dans les arrondissements de Nivelles et de Ath, tandis qu'à Anvers et à Malines, on observe des proportions intermédiaires avec respectivement 19 et 17%. Toutes ces proportions sont sensiblement les mêmes pour les SA1 et SA2.

Si l'on observe l'évolution entre 2005 et 2030 de ses effectifs selon le scénario, on constate des différences notables. À Bruxelles-Capitale (cf. Figure 19), la comparaison des scénarios de base et alternatif 1 met bien en évidence que la légère tendance à la perte de résidents vivant en couple avec enfant(s) dans le scénario de base (env. -1%), est complètement inversée lorsque l'on fait l'hypothèse que les émigrations urbaines diminuent en intensité. Ainsi la diminution du nombre d'émigrations urbaines envisagée par le SA1 permettrait à Bruxelles-Capitale de conserver et même d'accroître de plus de 10% cette population par rapport à 2005 ; et de façon générale, d'accroître les effectifs de tout type de ménage.

Figure 18. Proportion d'individus par types de ménage en 2030 (en %) avec le scénario de base

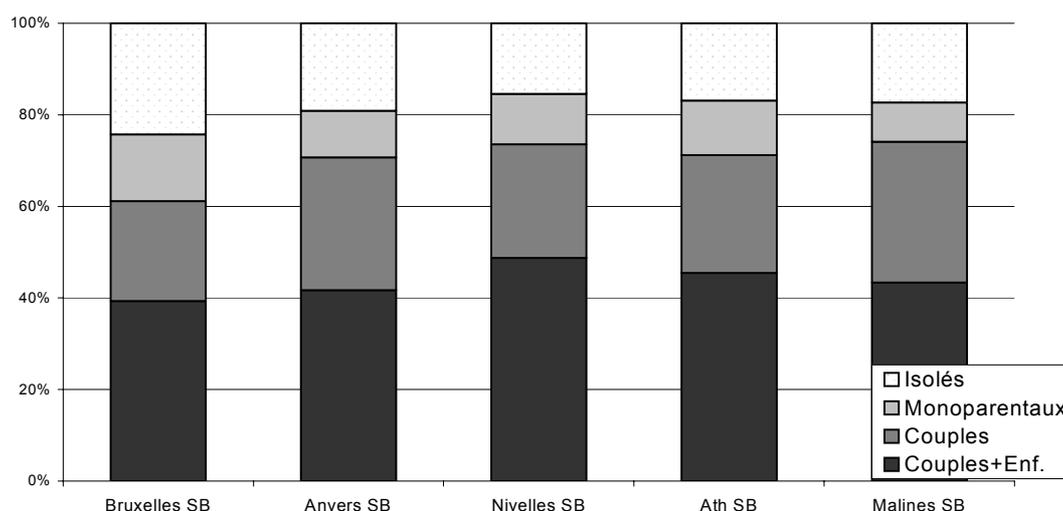
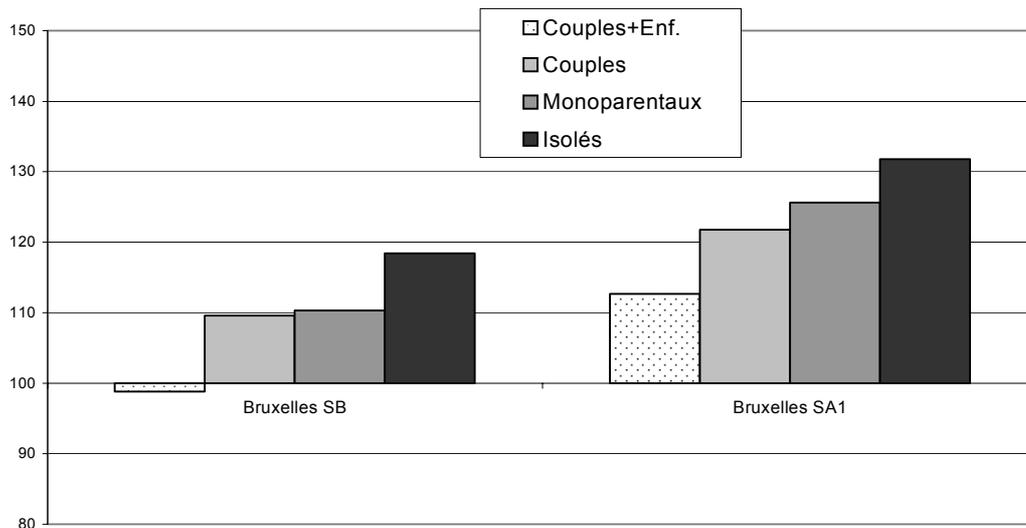
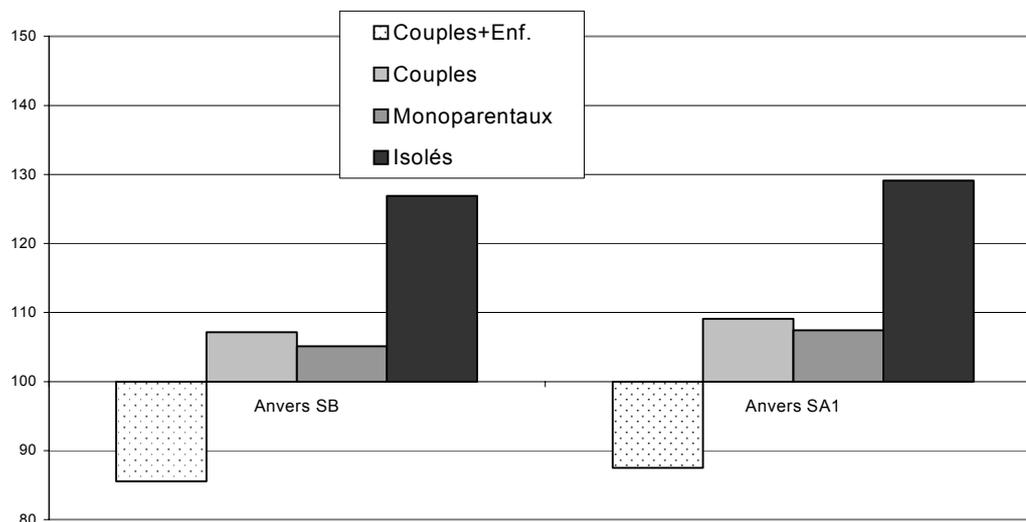


Figure 19. Évolution du nombre d'individus par types de ménage à Bruxelles-Capitale en 2030 (2005 = base 100)



L'effet du SA1 est en revanche moins net pour l'arrondissement d'Anvers que dans le cas de Bruxelles (cf. Figure 20): Anvers perdrait entre 2005 et 2030, plus de 13% de ses résidents vivant en ménage de couples avec enfant(s), et à peine plus avec le scénario de base (14%). De manière générale, les évolutions simulées par ces deux scénarios, et pour chaque effectif par type de ménages, ne se distinguent pas significativement (variation de 1 à 2 points de pourcentage seulement). Mais, au cours de la période 2005-2030, ce sont les ménages isolés qui, en proportion, progresseraient le plus (+27-29%) alors que la part de la population vivant en couple avec enfants devrait décroître systématiquement d'environ 13-14%.

Figure 20. Évolution du nombre d'individus par types de ménage à Anvers en 2030 (2005 = base 100)



Pour l'arrondissement périurbain de Nivelles (cf. Figure 21), et d'après le scénario de base, on observe une très forte progression (+40%) des ménages isolés en 2030 par rapport à 2005. Leur effectif passerait ainsi d'environ 38.700 à 56.400 individus (mais en terme de proportion de 11 à 14% seulement). Pour le scénario alternatif 1, on observe de façon attendue une diminution du nombre de résidents vivant couple avec enfant(s) ; ceux-là restant davantage dans les centres

urbains. Et de la même façon, on observe une progression plus faible des autres types de ménage par rapport au SB.

Pour l'arrondissement de Ath (cf. Figure 22), son profil plus mixte (rural et nouveau périurbain) semble peu attractif pour les couples avec enfants, qui résident le plus souvent dans des arrondissements périurbains. Quel que soit le scénario considéré, la part des résidents vivant dans ce type de ménage diminue. Elle diminue très légèrement pour le scénario alternatif 2 qui lui est pourtant le plus favorable en terme d'accroissement démographique, et pourrait perdre près de 10% avec le scénario alternatif 1.

Parallèlement, c'est avec le SA2 que l'on observe, comme à Bruxelles, la progression la plus forte de résidents vivant en ménage isolé (+40%) et en ménage monoparental, avec une progression d'environ 15% en 2030 par rapport à 2005 ; les membres de ces ménages recherchant des lieux de résidence meilleur marché, et par conséquent de plus en plus à la périphérie.

Figure 21. Évolution du nombre d'individus par types de ménage à Nivelles en 2030 (2005 = base 100)

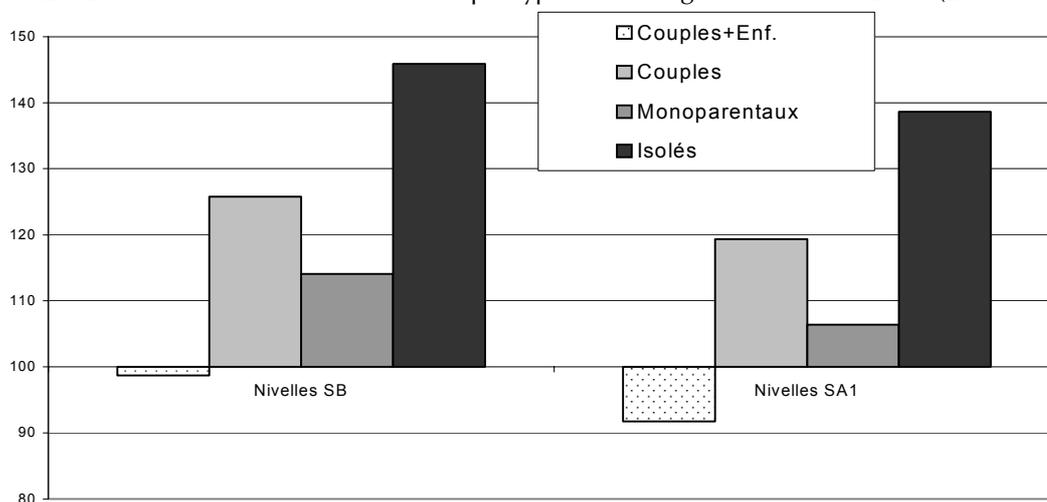
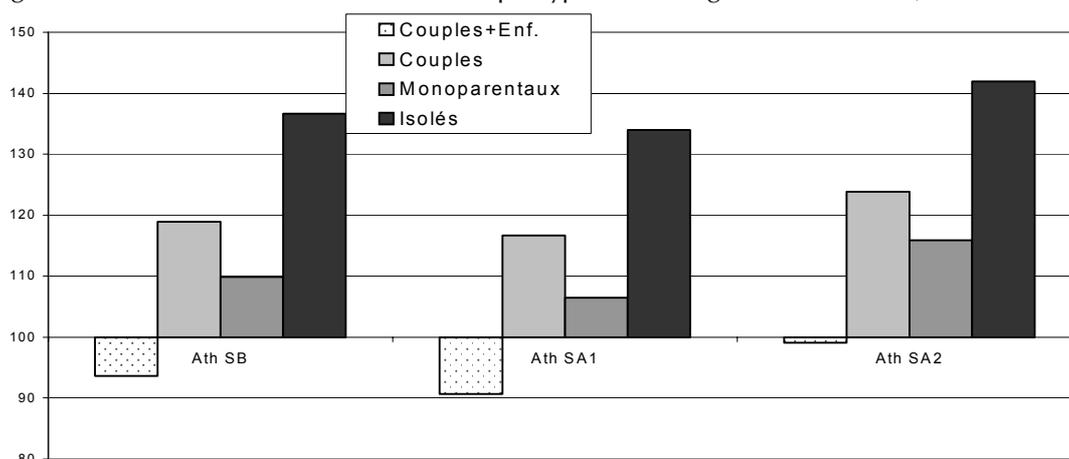


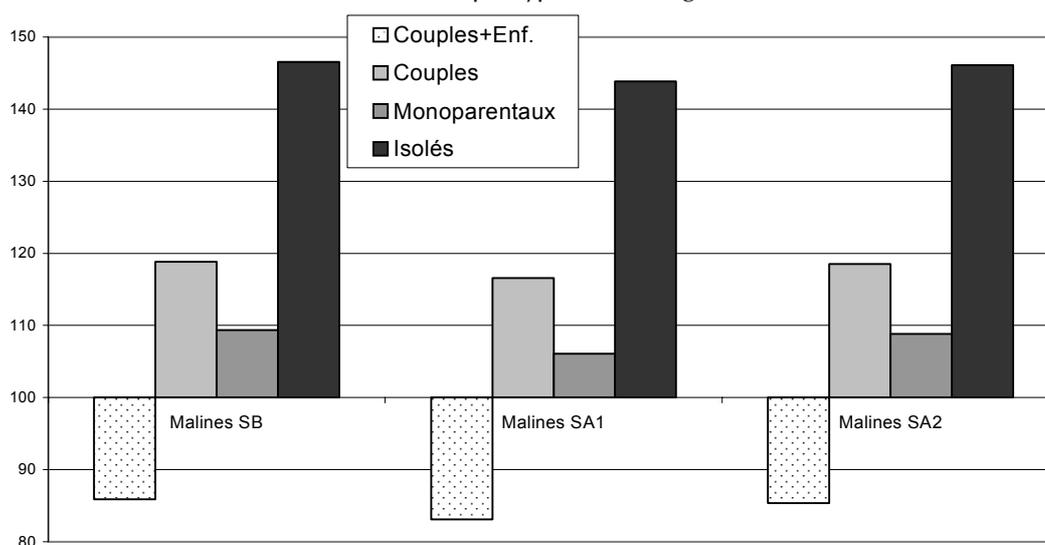
Figure 22. Évolution du nombre d'individus par types de ménage à Ath en 2030 (2005 = base 100)



Enfin, en ce qui concerne Malines (cf. Figure 23), les trois scénarios semblent converger vers une même évolution des résidents par type de ménages. À l'instar d'Anvers, aucun scénario n'influe de manière originale par rapport aux deux autres sur les projections de cet arrondissement.

Comme à Bruxelles et à Ath, la progression relative des ménages isolés dépasse les 40% entre 2005 et 2030. La part des résidents vivant en couple avec enfants – et dans une moindre mesure ceux vivant en couple – diminuent systématiquement de plus de 10% par rapport à 2005. Comme pour Nivelles, autre arrondissement périurbain, cette baisse relative est la plus forte dans le SA1, ce qui est cohérent avec le fait que les émigrations au départ de Bruxelles se réduisent et privent Malines de nouveaux résidents, le plus souvent composés de familles. Toutefois, à l'inverse de Ath, le fait de devenir un arrondissement de périurbanisation nouvelle au départ d'Anvers (SA2), ne permet pas à Malines de réduire sensiblement la perte de résidents vivant dans ce type de ménage.

Figure 23. Évolution du nombre d'individus par types de ménage à Malines en 2030 (2005 = base 100)



2.1.5. Conclusions

Pour conclure, la participation du GÉDAP dans le projet MOBIDIC nous a permis de développer des outils d'analyse et des méthodologies relativement inédits. Malgré quelques difficultés rencontrées pour produire des projections de ménages, nous avons pu réaliser dans les délais nos objectifs.

L'analyse comparative des trois jeux de projection a confirmé les tendances que nous souhaitions reproduire par les scénarios. Si les résultats sont probants, il importe de peaufiner certains aspects méthodologiques, notamment dans l'affinement des projections de ménages et avec la modification des calendriers de l'émigration. D'une part, au niveau des projections de ménages, en prenant en compte les transformations de ménages évoluant sur la période couverte. D'autre part, au niveau des calendriers d'émigration, en les faisant varier lorsque l'arrondissement change de catégorie (urbain, périurbain et rural) d'un scénario à l'autre. L'idéal serait de modifier progressivement dans le temps ces calendriers mais la mise en œuvre reste encore complexe.

2.2. Module « profils de mobilité »

2.2.1. Introduction

Les données issues du module sociodémographique vont maintenant pouvoir être utilisées par le module mobilité. Rappelons que l'objectif de celui-ci est de fournir des profils de mobilité qui, ensuite, pourront servir d'input au module de calcul des émissions.

Vu le degré de désagrégation spatiale choisi pour l'étude des émissions et, plus largement, pour le projet MOBIDIC, les profils de mobilité déterminés ici devront concerner chacun des 43 arrondissements belges (cf. Annexe A). Cependant, comme nous le verrons plus loin, pour des raisons de significativité statistique, certains des indicateurs produits seront malgré tout une moyenne sur l'ensemble du territoire.

Si le couplage avec le module démographique va permettre d'établir des prévisions de profils de mobilité à moyen et long terme (c.-à-d. de 2000 à 2030 par tranches de cinq ans), ce module a dû d'abord déterminer les profils de mobilité pour l'année de base avant d'estimer les prévisions pour les années futures.

La méthodologie suivie comprend donc deux étapes qui vont être détaillées dans cette section du rapport. Nous reprendrons d'abord un bref aperçu de la méthodologie des populations synthétiques qui a été exploitée pour bâtir la population désagrégée tant spatialement que dans ses composantes socioéconomiques et pour laquelle nous avons calculé des profils de mobilité pour l'année de base (2000). Ensuite, nous présenterons les données qui ont été exploitées pour établir les indicateurs de mobilité et nous expliciterons aussi le choix de ceux-ci en fonction de leur pertinence pour le module d'émissions avant de reprendre comment ceux-ci ont été calculés. Puis nous détaillerons comment les prévisions de populations, aux niveaux de désagrégation tant spatiale que socioéconomique, ont été estimées sur base des projections démographiques fournies par le GÉDAP. Nous présenterons ensuite les scénarios qui ont été envisagés pour différentes évolutions des populations. Enfin, nous nous attarderons sur quelques résultats en n'oubliant pas de rappeler les limitations de ceux-ci et en esquisant quelques comparaisons entre scénarios. Pour terminer, nous mentionnerons quelques pistes pour des améliorations ou d'autres applications de la méthodologie suivie.

2.2.2. La méthodologie des populations synthétiques

Puisque notre objectif est de déterminer des profils de mobilité distingués suivant un certain nombre de caractéristiques socioéconomiques des individus, outre la localisation (au niveau de désagrégation spatiale convenu, c.-à-d. celui des 43 arrondissements), il nous fallait donc d'abord disposer d'une population pour laquelle ces caractéristiques étaient connues. Sur base de l'analyse des comportements de mobilité des belges que nous avons pu tirer de l'enquête MOBEL (Hubert & Toint, 2002), il nous apparaissait que les facteurs suivants sont déterminants pour caractériser la mobilité et doivent donc intervenir dans la définition des catégories de population :

- le sexe
- l'âge (nous nous sommes restreints ici à quatre classes : 6 -17 ans⁸, 18-39 ans, 40-59 ans et plus de 60 ans)
- le diplôme⁹ (aucun, primaire, secondaire, supérieur)
- le statut socioprofessionnel (étudiant, actif ou non actif)
- le type de ménage (isolé sans enfants, couple sans enfants, couple avec enfants, isolé avec enfants)
- la possession (ou non) du permis de conduire

Comme nous ne pouvions disposer d'aucun jeu de données caractérisant la population belge au travers du croisement de toutes les variables évoquées ci-dessus et de plus désagrégée spatialement par arrondissement, il a donc fallu recourir à une méthode permettant de bâtir une population ainsi caractérisée sur base des différentes sources fournissant chacune une vue partielle, au travers de l'une ou l'autre variable ou bien de certains croisements, de la population belge.

La méthodologie des populations synthétiques nous permet de remplir cet objectif. Celle-ci a été développée par le GRT dans le cadre d'un autre projet soutenu par la Politique Scientifique Belge dans le cadre du PADD II : SAMBA (Spatial analysis and modelling based on activities - projet CP/41) (cf. Toint et al., 2005). Nous n'allons donc pas reprendre ici toute la présentation du cadre méthodologique qui peut être trouvée dans le rapport final de ce projet.

Rappelons simplement et succinctement que cette méthode consiste à employer une procédure de moindres carrés afin de construire une population aussi proche que possible de la population « totale » connue et respectant au mieux les contraintes fixées de par la connaissance de certains totaux marginaux. Ceux-ci donnent en fait la répartition de la population dans certaines dimensions ou suivant le croisement de certaines variables (p.ex. la possession du permis en fonction de l'âge). Nous avons pu ainsi utiliser des données provenant de l'INS, des recensements ou de la DIV¹⁰ et estimer la population pour chacune des 589 communes belges.

Après agglomération de ces populations au niveau des arrondissements, nous disposons alors de notre population de base pour l'année de référence, à savoir 2000. Dans chaque arrondissement, cette population est définie par le nombre d'individus dans chacune des catégories donnée par le croisement des variables retenues pour déterminer les profils de mobilité, c.-à-d. le sexe, les classes d'âge, les classes de diplômes, les classes de statut professionnel, les classes de type de ménage et la possession, ou non, du permis de conduire. Le Tableau 3 donne un exemple de cette caractérisation de la population en présentant un extrait de la population ainsi construite pour l'arrondissement d'Antwerpen.

⁸ La limite inférieure à 6 ans nous est imposée par la méthodologie suivie dans MOBEL qui n'a analysé que les déplacements des Belges de plus de six ans.

⁹ Il s'agit du plus « haut » diplôme détenu par l'individu. Cette variable s'avère un bon « proxy » du niveau d'éducation et est fortement corrélée au niveau de revenu.

¹⁰ DIV = La Direction pour l'Immatriculation des Véhicules

Tableau 3. Extrait de la population de base pour l'arrondissement d'Antwerpen (année de référence 2000) construite avec la méthodologie des populations synthétiques

age ¹¹	sexe ¹²	diplôme ¹³	statut ¹⁴	ménage ¹⁵	permis ¹⁶	population
1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	0	1280
1	1	1	1	2	1	0
1	1	1	1	2	0	1146
1	1	1	1	3	1	0
1	1	1	1	3	0	50696
1	1	1	1	4	1	0
1	1	1	1	4	0	11542
...
4	2	4	3	1	1	1594
4	2	4	3	1	0	859
4	2	4	3	2	1	2359
4	2	4	3	2	0	1587
4	2	4	3	3	1	330
4	2	4	3	3	0	0
4	2	4	3	4	1	0
4	2	4	3	4	0	0

2.2.3. Les données utilisées et leurs limitations

Une fois la population de base connue, il faut, dans un second temps, lui associer des profils de mobilité. Ces profils de mobilité consistent, en fait, en un certain nombre d'indicateurs de mobilité d'abord estimés pour chaque catégorie de la population, puis calculés pour la population (d'un arrondissement ou de la Belgique) en tenant compte de l'importance relative de chaque catégorie dans cette population. Le but premier ici est de pouvoir fournir, au sous-modèle environnemental, des données sur la mobilité désagrégées au niveau des arrondissements et estimées tant pour l'année de référence que pour les projections dans le futur afin que le Bureau du Plan puisse dans cette dernière partie du projet étudier l'impact de combinaisons de scénarios sociodémographiques et de scénarios de profils de mobilité sur les émissions de polluants. Bien entendu, si nous avons catégorisé notre population suivant certaines variables pertinentes pour déterminer des comportements de mobilité, il faudra tenir compte de ces catégories dans la recherche des profils de mobilité. Pour ce faire, nous nous

¹¹ 1 = 6- 17 ans, 4 = 60 ans et plus

¹² 1 = homme, 2 = femme

¹³ 1 = aucun diplôme, 4 = diplôme de l'enseignement supérieur ou universitaire

¹⁴ 1 = étudiant, 3 = inactif

¹⁵ 1 = isolé sans enfant, 2 = couple sans enfant, 3 = couple avec enfants, 4 = isolé avec enfants

¹⁶ 1 = possession du permis de conduire, 0 = pas de permis

sommes tournés vers les données récoltées lors de l'enquête nationale sur la mobilité des ménages belges (MOBEL) (cf. Hubert & Toint, 2002).

Plus spécifiquement, dans ces bases de données, nous nous sommes intéressés à celle reprenant tous les déplacements réalisés par les personnes interrogées durant le jour de référence où celles-ci devaient noter l'ensemble des déplacements qu'elles avaient réalisés. Nous disposons ainsi de renseignements sur 21075 déplacements.

Pour chacun de ceux-ci, la base MOBEL nous donne une série de renseignements sur l'individu qui a effectué le déplacement, notamment :

- son âge
- son sexe
- le type de son ménage
- son diplôme
- son statut professionnel
- sa possession (ou non) du permis de conduire
- la localisation de son domicile
- son « poids » dans l'échantillon¹⁷

mais aussi sur les caractéristiques du déplacement lui-même :

- le mode de transport « principal »¹⁸
- le motif
- la distance parcourue
- l'heure de départ
- la localisation de l'origine comme de la destination
- ...

Toutes ces données pourront donc être exploitées dans le calcul des profils de mobilité.

Cependant, avant d'aller plus loin, il convient de noter les limites de la base de données utilisée.

Tout d'abord, il faut savoir que, de par la nature de l'échantillon qui ne comporte que 7037 personnes sur l'ensemble du territoire belge, l'enquête MOBEL n'est pas statistiquement significative lorsque considérée au niveau de désagrégation spatiale que représentent les arrondissements. Nous ne pourrions de ce fait pas particulariser les profils de mobilité en tenant compte de la localisation des individus et devons faire l'hypothèse qu'à un individu caractérisé par une série de variables socioéconomiques seront associés les mêmes indicateurs de mobilité partout en Belgique, quelque soit l'arrondissement où cet individu est domicilié.

Par ailleurs, un examen plus approfondi des données que nous avons utilisées nous montre également que chacune des catégories employées pour la détermination de notre population de

¹⁷ Il s'agit d'un nombre associé à chaque individu de l'échantillon lors du redressement de celui-ci de manière à assurer que l'ensemble des répondants soit bien représentatif de la population belge et que chaque catégorie définie dans la population soit bien pondérée dans l'échantillon proportionnellement à sa représentation dans l'ensemble de la population belge considérée (cf. Hubert & Toint, 2002)

¹⁸ C'est-à-dire celui avec lequel la plus longue distance a été parcourue au cours du déplacement.

base n'est pas représentée de la même façon dans l'échantillon. Certaines sont très peu représentées car notre échantillon ne reprend que quelques observations de déplacements d'individus appartenant à cette catégorie et, « pire » encore, certaines sont même totalement absentes dans notre base de données, soit que l'échantillon de l'enquête ne comprenait pas d'individus de cette catégorie spécifique, soit que les personnes interrogées et répondant aux critères pour appartenir à cette catégorie ont été « immobiles » (c.-à-d. ne se sont pas déplacées lors du jour de référence).

Pour pallier cet inconvénient, il nous a donc fallu mettre au point une procédure permettant, d'une manière satisfaisante et rigoureuse, d'associer malgré tout des indicateurs de mobilité à des individus dans ces catégories sous- ou non-représentées. Nous détaillerons ce processus lors de la présentation de la méthode de détermination des indicateurs.

2.2.4. Les indicateurs de mobilité nécessaires au sous-modèle environnemental

Mais avant de passer à la description de la procédure de calcul de ces indicateurs, nous allons présenter quels sont ceux que nous avons retenus pour établir les profils de mobilité. En effet, il faut garder à l'esprit que ceux-ci ont comme finalité première de servir d'input au sous-modèle environnemental développé par le Bureau fédéral du Plan. Nous nous sommes donc d'abord concertés avec les chercheurs du Bureau fédéral du Plan pour déterminer quels étaient les indicateurs qui étaient pertinents pour leur analyse et dont ils avaient besoin pour faire tourner leur modèle.

Le premier de ces indicateurs est le mode (principal) de transport. Il s'agit donc ici de déterminer quels sont les moyens de transport utilisés par les individus pour réaliser leurs déplacements et ce en fonction de la catégorie de la population à laquelle ils appartiennent. Pour rationaliser le calcul de cet indicateur, nous nous en sommes tenus à ces classes de modes de transport :

- voiture comme passager
- voiture comme conducteur
- train
- bus (y compris tram et métro)
- modes lents (marche, vélo, etc.)

Pour répondre aux attentes du Bureau fédéral du Plan, la détermination de cet indicateur a été effectuée, d'une part, spécifiquement pour les déplacements domicile-travail et, d'autre part, pour les autres motifs.

Un deuxième indicateur est en quelque sorte un « raffinement » du précédent : il ne s'agit plus uniquement de répartir les déplacements en fonction des modes utilisés mais aussi en fonction des distances parcourues. Pour celles-ci, à nouveau, des classes ont été choisies de manière à garder un caractère opératoire à ce calcul. Ces classes sont :

- moins d'un km
- de 1 à 2 km
- de 2 à 5 km
- de 5 à 10 km
- de 10 à 20 km
- de 20 à 50 km
- au-delà de 50 km

Cependant, lorsque nous faisons le croisement des deux variables retenues (mode et distance), nous obtenons 35 classes (p.ex. les déplacements effectués en train sur une distance comprise entre 5 et 10 km), il n'était donc plus possible dans ce cas de distinguer les déplacements suivant le motif (plus spécifiquement en traitant séparément les déplacements domicile-travail). En effet, nous aurions alors eu dans chaque catégorie un nombre trop peu important d'observations pour obtenir des résultats significatifs.

Le troisième indicateur retenu concerne la localisation. Plus exactement, il consiste à examiner si l'origine et la destination du déplacement sont situées dans la même entité administrative. Là encore des classes ont été utilisées pour que cet indicateur puisse être calculé en évitant, autant que faire se peut, des problèmes de significativité. Les déplacements ont donc été répartis entre les catégories suivantes :

- origine et destination dans la même commune (ancienne commune)
- origine et destination dans la même entité (nouvelle commune)
- origine et destination dans le même arrondissement
- origine et destination dans la même province
- origine et destination dans la même région

Notons qu'ainsi nous négligeons les déplacements « transrégionaux » mais nous savons d'autre part que ceux-ci sont peu nombreux (sauf bien entendu pour les déplacements issus de Flandre ou de Wallonie à destination de la région de Bruxelles-Capitale).

D'autres indicateurs ont encore été envisagés comme la répartition des déplacements en fonction de leur heure de départ, suivant que celle-ci est située lors de la pointe du matin, hors pointe ou lors de la pointe du soir.

2.2.5. La méthodologie utilisée pour déterminer les indicateurs de mobilité

La méthodologie que nous avons développée n'est pas spécifique aux indicateurs retenus et elle peut être appliquée sans problème à d'autres indicateurs si le besoin s'en faisait sentir.

Nous pouvons décomposer la méthode suivie pour chaque indicateur en cinq étapes :

1. classification des déplacements considérés en fonction des classes de l'indicateur étudié ;
2. pour chaque individu dont des déplacements ont été observés, répartition de ces déplacements dans les différentes classes de l'indicateur ;
3. pour chaque catégorie formant la population, répartition des déplacements des individus appartenant à cette catégorie entre les classes de l'indicateur
4. procédure de « complétion » pour associer des valeurs de l'indicateur aux catégories sous- ou non-représentées dans l'échantillon des déplacements ;
5. estimation de l'indicateur pour chaque arrondissement en fonction de la répartition de la population de celui-ci entre les catégories considérées.

Le résultat final de cette procédure sera, par arrondissement, un nombre total de déplacements et la répartition de ceux-ci entre les différentes classes de l'indicateur étudié.

Nous allons maintenant détailler davantage chacune des étapes suivies.

Dans un premier temps, il s'agit donc de déterminer, pour chacun des déplacements retenus¹⁹, la classe de l'indicateur à laquelle ils appartiennent (p.ex. quel est le mode de transport principal employé pour effectuer ce déplacement). Notons que, lors de cette étape, nous serons amenés à éliminer un certain nombre de déplacements pour lesquels les informations recueillies dans MOBEL ne sont pas complètes et ne comprennent pas la valeur de la variable permettant de déterminer la classe de l'indicateur²⁰.

Ensuite, nous regroupons les déplacements en fonction de l'individu qui les a effectués. Ceci nous permet de voir comment se répartissent les déplacements d'un individu entre les classes de l'indicateur. Nous pouvons illustrer ceci par l'exemple suivant : un individu qui a effectué deux déplacements en train, un en bus et un en vélo se verra associer les valeurs suivantes pour les différentes classes de l'indicateur « modes » :

- 0 pour la classe voiture passager
- 0 pour la classe voiture conducteur
- 0.5 pour la classe train
- 0.25 pour la classe bus
- 0.25 pour la classe modes lents

Au terme de cette étape, nous avons donc, pour chaque individu ayant effectué un ou des déplacements, le pourcentage de ceux-ci dans chacune des classes de l'indicateur ainsi que le nombre de déplacements qu'il a réalisés.

Sur base de ces résultats, nous passons alors au niveau des catégories de la population²¹. Un nouveau processus de regroupement a lieu dans lequel nous considérons, pour chaque catégorie, l'ensemble des individus observés²². En fonction du poids relatif de chacun dans l'échantillon, nous pondérons les résultats obtenus par individu pour calculer le même type

¹⁹ Cela peut être l'ensemble de tous les déplacements ou, par exemple, exclusivement les déplacements dont le motif est le travail.

²⁰ Ainsi, pour certains déplacements, le mode de transport n'a pas été indiqué par le répondant.

²¹ À savoir celles employées lors de la construction de la population de base.

²² C.-à-d. ceux ayant effectué des déplacements.

d'informations mais cette fois au niveau des catégories. Nous obtenons donc ainsi le nombre total (pondéré) de déplacements pour chaque catégorie de la population et les pourcentages donnant leur répartition entre les différentes classes de l'indicateur.

Arrivés à ce stade du processus, nous disposons également d'une information indiquant le nombre d'observations relevées dans chaque catégorie. Ce nombre représente en fait le nombre d'individus appartenant à cette catégorie dont au moins un déplacement a été enregistré dans la base MOBEL et a été considéré dans la procédure mise en œuvre jusqu'à présent²³. Nous fixons alors un seuil (dans le cas de ce projet, ce seuil a été fixé à 10) en dessous duquel, nous estimons que le peu d'observations ne nous permet pas de considérer que les résultats obtenus sont significatifs. Ces cas englobent la situation où une catégorie ne comprend aucune observation et donc où il a été impossible de déterminer des valeurs pour l'indicateur à associer à cette classe.

Pour tous ces cas, nous avons mis au point une procédure inspirée du « hot deck » (cf. Lothaire & Toint, 2003). Il s'agit de considérer les valeurs de l'indicateur pour les catégories voisines et d'en faire une sorte de moyenne pondérée que l'on associe alors à la catégorie pour laquelle on manque d'observations.

Le principe est le suivant. Lorsqu'une catégorie ne possède pas assez d'observations, on utilise un processus d'agglomération avec les catégories voisines jusqu'à ce que l'ensemble des catégories ainsi agglomérées représente un nombre suffisant d'observations (c.-à-d. que la somme des observations dans ces catégories dépasse le seuil fixé [ici 10]).

Avant d'aller plus loin, il nous faut dire un mot sur la manière avec laquelle on prend en compte des catégories voisines. Ces notions de proximité sont définies en tenant compte des dimensions (classes de variables) déterminant une catégorie. L'ordre dans lequel sont présentées les classes d'une variable intervenant dans la définition d'une catégorie de la population indique comment on considère que deux classes sont voisines. De plus, dans certains cas, nous pouvons aussi envisager une procédure de « bouclage ». Par là, nous voulons dire que la dernière classe est considérée comme proche de la première.

Ainsi, nous avons :

- Pour le sexe :
masculin < féminin < masculin < ...
- Pour le statut professionnel :
étudiant < actif < non actif < étudiant < ...
- Pour le type de ménage :
isolé sans enfant < couple sans enfant < couple avec enfant < isolé avec enfant < isolé sans enfant < ...

²³ On peut en effet envisager un individu ayant effectué un déplacement qui est repris dans la base MOBEL mais pour lequel les informations ne sont pas complètes et pour lequel on ne peut pas déterminer la classe de l'indicateur à laquelle il appartient.

Pour les autres variables, la première (dernière) classe n'a pas de voisin la précédant (suivant). C'est le cas

- Pour l'âge :
« 6-17 ans » < « 18-39 ans » < « 40-59 ans » < « 60 ans et + »
- Pour le diplôme :
Aucun < primaire < secondaire < supérieur

Les catégories à agglomérer sont considérées en s'éloignant progressivement de la catégorie pour laquelle on manque d'observations. On prend en ligne de compte des cercles/boules concentriques (plutôt des carrés/cubes) autour de cette catégorie. Chacune de ces catégories voisines est caractérisée par son écart vis-à-vis de la catégorie considérée (c.-à-d. celle pour laquelle on manque d'observations). Ainsi, dans un cas à 2 dimensions²⁴, on a les écarts suivants (0 indique la catégorie considérée) :

3333333
3222223
3211123
3210123
3211123
3222223
3333333

Ces écarts représentent la « distance » maximale dans au moins une dimension (c.-à-d. pour une des variables définissant les catégories de population) entre la catégorie considérée et celle qu'on cherche à agglomérer. Ainsi, par exemple, une catégorie avec un écart 2 est une catégorie pour laquelle au moins une des classes de variables la définissant est « éloignée de 2 » de la classe pour cette même variable dans le cas de la catégorie considérée (p.ex. dans un cas, la classe d'âge prend la valeur 1 et dans l'autre, la valeur 3).

Comme plusieurs catégories sont caractérisées par le même écart, il faut encore donner l'ordre dans lequel on va envisager l'agglomération de ces catégories. Pour ce faire, nous introduisons la notion d'incrément. Celle-ci est définie par la somme des valeurs absolues des distances dans chaque dimension entre catégories. Un exemple rendra plus concret cette définition : supposons que nous considérons la catégorie caractérisée par la valeur 2 pour la classe d'âge et 1 pour la classe de sexe parce que cette catégorie manque d'observations. La catégorie pour laquelle la classe d'âge prend la valeur 1 et la classe de sexe, la valeur 1 ainsi que celle où la classe d'âge est 3 et la classe de sexe, 2 se trouvent toutes deux à un écart 1 de la catégorie considérée. Par contre la première est caractérisée par un incrément de 1 ($|2-1| + |1-1|$) tandis que la seconde l'est par un incrément de 2 ($|2-3| + |1-2|$) ; elles seront donc envisagées dans cet ordre lors du processus d'agglomération.

Enfin, lorsque deux catégories candidates à l'agglomération sont caractérisées par le même écart et le même incrément, on examine alors la distance entre les valeurs de l'indicateur dans la

²⁴ Rappelons que dans le cas de l'application de cette méthode à ce projet, nous travaillons avec 6 dimensions [âge, sexe, diplôme, statut professionnel, type de ménage, permis]. Mais nous ne ferons aucune agglomération entre des catégories de personnes avec permis et celles de personnes sans permis pour éviter des incohérences (du type un individu sans permis effectuant des déplacements comme conducteur d'une voiture). Nous travaillerons donc pratiquement suivant 5 dimensions.

catégorie considérée et chacune de ces catégories et on retient d'abord celle qui se trouve, de ce point de vue, à la distance minimale. Cette distance est calculée de la façon suivante (RMS):

$$\sqrt{\sum_{\text{classes de l'indicateur}} (x_c - y_c)^2}$$

où x_c est la valeur pour la classe c de l'indicateur dans le cas de la catégorie considérée et y_c cette même valeur pour la catégorie envisagée pour l'agglomération.

À ce stade, nous savons maintenant dans quel ordre il nous faut considérer, lors du processus d'agglomération, les catégories voisines d'une catégorie pour laquelle nous manquons d'observations. Nous savons également que cette procédure se terminera dès que l'ensemble des observations associées à toutes les catégories agglomérées se situera au dessus du seuil fixé. Nous allons maintenant voir comment, au travers de ces agglomérations, nous estimons les valeurs de l'indicateur (dans ces différentes classes) qu'il faut associer à la catégorie pour laquelle nous manquons d'observations.

L'idée est de calculer une moyenne pour ces valeurs au travers de toutes les catégories agglomérées. Mais ce processus de « moyennisation » sera pondéré par « l'éloignement » de façon à ce que la contribution d'une catégorie plus proche compte pour un poids plus important que celle d'une catégorie plus éloignée.

Pratiquement, en fait, nous gardons un poids 1 pour la nouvelle contribution et nous augmentons le poids de la partie déjà agglomérée. De plus ces calculs de poids (qui servent donc à "comparer" des contributions entre elles) ne commencent que pour une contribution non nulle (c.-à-d. une catégorie pour laquelle on a au moins une observation). De manière rigoureuse, l'algorithme suivi pour cette moyennisation pondérée est le suivant :

Tant que le seuil minimal d'observations n'est pas atteint

Pour chaque nouvelle catégorie « voisine » envisagée

❖ A-t-on déjà des observations ?

- Si non,
 - on prend simplement la nouvelle contribution (poids 1)
 - on note que l'on a maintenant des observations (au moins une).
 - on retient la distance actuelle (par rapport à la catégorie de base²⁵) comme le point de départ pour le calcul des poids (« distance courante »)
 - on initialise P à 1 et e à 2
- Si oui,
 - Si l'on est à la même distance (« distance courante »)
 - on ajoute la contribution nouvelle (d') à la contribution ancienne (d) comme suit
$$d = (d P + d') / (P + 1)$$
$$P = P + 1$$
 - Si l'on est à une distance plus grande
 - on ajoute la contribution nouvelle (d') à la contribution ancienne (d) comme suit
 - si $d' \neq 0$
$$d = (e d P + d') / (e P + 1)$$
$$P = e P + 1$$
$$e = 2 \text{ (réinitialisation)}$$
 - si $d' = 0$
$$d \text{ et } P \text{ inchangés}$$
$$e = e * e$$
 - on retient la nouvelle distance comme « distance courante »
où P est la somme des poids déjà accumulés
et où e est une mesure de l'écart entre 2 valeurs d' non nulles

Dans cet algorithme, la distance entre catégories est mesurée en fonction de l'incrément (tel que défini plus haut) et les poids sont les puissances successives de 2.

Les contributions dont il est question sont les valeurs (pourcentages) dans chaque classe de l'indicateur.

Au terme de cette procédure, nous disposons alors de valeurs de l'indicateur (dans chacune de ses classes) pour toutes les catégories formant la population.

Nous pouvons enfin passer à la dernière étape de notre estimation des indicateurs. Nous reprenons maintenant la population de base par arrondissement ; celle-ci, rappelons-le, est donnée sous la forme du nombre d'individus dans chaque catégorie de la population. Il suffit donc de prendre les valeurs de l'indicateur pour chaque catégorie, de les multiplier par le nombre d'individus dans cette catégorie puis de diviser les nombres obtenus par le nombre total d'individus dans la population de l'arrondissement pour finalement découvrir les valeurs de l'indicateur pour cet arrondissement, c.-à-d. comment les déplacements issus de cet arrondissement se répartissent entre les classes de l'indicateur.

²⁵ C.-à-d. celle pour laquelle on a démarré un processus d'agglomération parce qu'on manquait d'observations.

Le Tableau 4 ci-dessous donne un exemple de ces résultats pour l'indicateur « modes » (pour les déplacements pour le travail) dans les arrondissements de la province de Namur.

Tableau 4. Répartition des déplacements pour le travail entre les classes de mode pour la province de Namur

arrond.	Nom	voiture passager	voiture conducteur	train	bus	modes lents
91	Dinant	3986.77319	12918.502	921.951843	3386.7124	6340.51807
92	Namur	12747.8076	32843.2383	2909.44141	12537.665	19653.9785
93	Philippeville	2628.68848	8645.72656	632.668518	2111.98486	4198.67334

2.2.6. L'intégration des données sociodémographiques pour la construction des populations futures

Arrivés à ce stade de la démarche, nous disposons des profils de mobilité, c.-à-d. de répartition des déplacements effectués entre les différentes classes de(s) l'indicateur(s) considéré(s), pour la population de base, à l'année de référence (2000). Il va s'agir maintenant de répéter le processus afin d'associer également des profils de mobilité aux projections de population pour les années futures (2005, 2010, 2015, 2020, 2025 et 2030). Si la méthode de détermination des profils de mobilité va être strictement la même que celle appliquée pour l'année de référence mais utilisée cette fois pour les populations prévues dans le futur, il faut cependant également construire celles-ci sur base des projections démographiques fournies par le GÉDAP. C'est la méthodologie employée pour réaliser cela que nous allons détailler maintenant.

Il faut tout d'abord savoir que les données délivrées par le GÉDAP ne concernent que les évolutions de certains paramètres démographiques. Comme il a été expliqué dans la partie du rapport consacrée au module démographique, le GÉDAP a étudié et modélisé comment, dans le futur, la population belge va se modifier suivant les facteurs suivants :

- l'âge
- le sexe
- le type de ménage

Les prévisions de population du GÉDAP ne catégorisent donc la population que suivant ces trois dimensions alors que nous voulons faire intervenir plus de paramètres à la fois car nous jugeons qu'ils sont aussi pertinents dans la détermination des comportements de mobilité et car cela nous permet d'assurer la compatibilité avec la population de base construite pour l'année de référence. Ces autres facteurs, qui sont davantage liés aux caractéristiques socioéconomiques des individus, sont :

- le diplôme
- le statut professionnel
- la possession du permis

Nous avons donc à appliquer un traitement aux données du GÉDAP de façon à pouvoir reproduire, dans les populations pour les années futures, la répartition de celles-ci entre les mêmes catégories que celles employées dans la construction de la population de base.

Dans un premier temps, nous nous occupons des classes d'âge. En effet, les données démographiques du GÉDAP sont partagées en 19 classes d'âge :

- 0 – 4 ans
- 5 – 9 ans
- 10 – 14 ans
- 15 – 19 ans
- 20 – 24 ans
- 25 – 29 ans
- 30 – 34 ans
- 35 – 39 ans
- 40 – 44 ans
- 45 – 49 ans
- 50 – 54 ans
- 55 – 59 ans
- 60 – 64 ans
- 65 – 69 ans
- 70 – 74 ans
- 75 – 79 ans
- 80 – 84 ans
- 85 – 89 ans
- 90 ans et plus

Si, dans la plupart des cas, passer aux classes d'âge utilisées dans la population de base ne pose pas de problème et consiste simplement en un regroupement des classes du GÉDAP, nous avons cependant dû être plus attentifs dans certains cas :

- La classe des moins de 5 ans n'a pas été prise en compte puisque ces enfants n'ont pas été considérés dans la population de base conformément à ce qui s'était fait dans MOBEL²⁶.
- Pour ce qui est des enfants (classe des 6 – 17 ans dans la population de base), nous avons considéré une interpolation linéaire pour ce qui est de la classe des 5 – 9 ans du GÉDAP (nous avons donc pris en compte 80% des effectifs de cette classe) et le GÉDAP nous a fourni des données supplémentaires explicitant la répartition de la classe des 15 – 19 ans en deux « sous-classes » : 15 – 17 ans et 18 – 19 ans.

Les classes de sexe ne posent quant à elles aucun problème et sont simplement « décalquées » des données GÉDAP.

²⁶ On estime que de si jeunes enfants n'ont pas de comportements de mobilité autonome.

Pour ce qui est des classes de types de ménage, rappelons que le GÉDAP a adopté la classification suivante :

- **auaut** individu autre dans un ménage "autre"
- **EnMono** enfant dans un ménage monoparental
- **EnCAE** enfant d'un couple marié
- **col** individu dans un ménage collectif
- **EnCoA** enfant dans un ménage de conjoints
- **CmAut** chef de ménage "autre"
- **CmMono** chef d'un ménage monoparental
- **CAE** individu vivant en couple marié avec enfant
- **CSE** individu vivant en couple marié sans enfant
- **Iso** ménage isolé (individu vivant seul)
- **CoS** individu vivant en couple (conjoint) sans enfant
- **CoA** individu vivant en couple (conjoint) avec enfant

Pour apparier cette classification avec celle utilisée dans notre population de base, nous avons pris les conventions suivantes :

- Les individus des ménages « autres » (**auaut** ou **CmAut**) et des ménages collectifs (**col**) sont assimilés à des individus dans des couples sans enfants.
- On retrouve dans les isolés avec enfants, les individus des classes **EnMono** et **CmMono**.
- On reprend dans les couples avec enfants, les individus des classes **EnCAE**, **EnCoA**, **CAE** et **CoA**.
- Les couples sans enfants comprennent les individus des classes **CSE** et **CoS**.
- Les isolés sans enfants sont les individus de la classe **Iso**.
- Avec ces conventions, certains enfants de moins de 18 ans se retrouvaient dans des ménages du type « isolé sans enfant » ou « couple sans enfant » ; nous avons décidé de les réaffecter plutôt à la classe « isolé avec enfants », respectivement « couple avec enfants ».

À l'issue de ces différentes manipulations, les populations fournies par le GÉDAP pour les années futures se trouvent donc réparties en des catégories qui sont définies par l'âge, le sexe et le type de ménage et qui sont cohérentes avec les classes utilisées pour ces paramètres dans la population de base.

Il faut maintenant scinder chacune de ces catégories en des « sous catégories » où interviennent en sus les facteurs diplôme, statut professionnel et possession du permis. Ceci nous permettra ainsi d'avoir l'ensemble des catégories (avec toutes les dimensions prises en compte) intervenant dans la détermination de la population de base.

La manière dont ces catégories vont être scindées en « sous catégories » va dépendre du scénario envisagé. Dans le cadre de ce projet, trois scénarios ont été mis en œuvre. Nous allons maintenant les présenter.

2.2.7. Les différents scénarios de projection démographique

Si le GÉDAP s'est attelé à modéliser comment, dans l'avenir, vont évoluer les paramètres démographiques que sont l'âge, le sexe ou le type de ménage au sein de la population belge, nous avons voulu ici imaginer différents scénarios prévoyant comment les autres paramètres²⁷, non considérés par le GÉDAP, vont, eux aussi, évoluer au cours du temps. Pour ce faire, nous avons élaboré trois situations.

2.2.7.1. Le scénario statique (SS)

Dans cette situation, nous faisons l'hypothèse que rien n'évolue et que la situation de l'année de référence reste inchangée. Cela signifie que la répartition de chacune des catégories (âge, sexe, type de ménage) entre les sous catégories définies par le croisement d'une classe de diplôme, d'une classe de statut professionnel et d'une classe de possession du permis reste au cours du temps la même que celle observée au sein de la population de base. Les proportions relevées pour l'année de référence sont appliquées telles quelles pour les années futures. En gros, cela signifie que, pour une classe d'âge, de sexe et de type de ménage, on a la même part de diplômés du primaire, de possesseur du permis, d'actifs, etc. dans la population de base que dans les prévisions de population pour les années futures.

2.2.7.2. Le scénario dynamique (SD)

La dynamique dont il est question ici concerne les permis de conduire. L'hypothèse sous-jacente à ce scénario est que les possesseurs d'un permis vont conserver celui-ci tout au long de vie et que donc, ipso facto, le taux de possession de permis dans les classes âgées va évoluer (augmenter en fait) au cours du temps de par le vieillissement de la population adulte dotée de permis de conduire.

Dans cette situation, l'évolution des paramètres diplôme et statut professionnel reste la même que dans le scénario statique (SS). La part d'étudiants, de diplômés du secondaire, etc. dans chaque catégorie définie par une classe d'âge, une classe de sexe et une classe de type de ménage n'évolue pas au cours du temps et reste identique à celle observée dans la population de base.

Par contre, pour la possession du permis, nous avons mis en œuvre les hypothèses suivantes :

- tous les individus de moins de 18 ans n'ont pas de permis ;
- le pourcentage de possession du permis dans la classe des 18 – 39 ans²⁸ reste le même au cours du temps ;
- la proportion relative d'individus en possession du permis dans les groupes d'âge successifs ne décroît jamais (à l'intérieur d'une classe de sexe, type de ménage, diplôme et statut professionnel) d'une année à l'autre ;
- dans chaque classe de sexe, type de ménage, diplôme et statut professionnel, la proportion relative de personnes possédant le permis parmi les 40 – 59 ans est donnée par $0.25 * \text{cette}$

²⁷ À savoir le diplôme, le statut professionnel et la possession du permis.

²⁸ Qui représente en quelque sorte le taux d'acquisition de nouveaux permis.

proportion pour les 18 – 39 ans dans la même classe et pour la tranche temporelle précédente + $0.75 * \text{cette même proportion dans les 40 – 59 ans}$ (aussi dans la même classe et pour la tranche temporelle précédente). Ainsi, nous souhaitons refléter le fait que, si la taille des groupes d'âge sont égales, le groupe des 40 – 59 ans à l'année $y+5$ est constitué pour un quart d'individus provenant de la tranche d'âge 18 – 39 à l'année y et pour trois quarts d'individus ayant entre 40 et 59 ans à l'année y . Une procédure d'ajustement est également mise en œuvre lorsque l'on compare les proportions dans les deux tranches d'âge (en vue de calculer la nouvelle proportion dans la tranche des plus âgés) pour tenir compte des différences de taille entre ces deux groupes d'individus ;

- la même procédure est appliquée pour la transition entre les 40 – 59 ans et les 60 ans et plus.

2.2.7.3. Le scénario « diplômes dynamiques » (SDD)

Alors que dans le scénario précédent, nous étudions l'effet de l'évolution du taux de possession du permis de conduire, nous nous intéressons ici aux impacts de l'évolution de l'obtention d'un diplôme. L'hypothèse sous-jacente est que les personnes en possession d'un diplôme le conservent tout au long de leur existence et que leur vieillissement va avoir une répercussion sur le taux de pénétration de chaque type de diplôme dans chaque tranche d'âge (et plus particulièrement chez les personnes mûres (40 – 59 ans) et les seniors (60 ans et plus)).

De la même manière que pour les permis, nous envisageons l'évolution des taux de diplôme en suivant les règles suivantes :

- les taux des divers diplômes dans la tranche 6 – 39 ans²⁹ restent constants ;
- la proportion relative des diplômés des différents types dans chaque classe ne diminue pas ;
- pour une année donnée et pour chaque classe³⁰ considérée, la proportion relative de diplômés (pour chaque type de diplôme) dans les 40 – 59 ans est donnée par $0.25 * \text{cette proportion dans la tranche des 18 – 39 ans pour l'année précédemment considérée} + 0.75 * \text{la même proportion pour les 40 – 59 ans également relativement à l'année précédemment reprise}$. Ce calcul est valable si la taille des groupes d'âge est la même ; pour rentrer dans ces conditions, une procédure d'ajustement est mise en œuvre dans l'hypothèse où les groupes comprennent un nombre différent d'individus. De cette façon, nous tenons compte de l'effet de cohorte et du passage progressif, au fil des années considérées, d'une tranche d'âge à l'autre ;
- le même raisonnement est appliqué au cas de la tranche des 60 ans et plus.

Le recours à ces différents scénarios nous permet ainsi de calculer des projections de population pour les années considérées (2005, 2010, 2015, 2020, 2025 et 2030) dans chacune des situations envisagées. Ces résultats sont produits sous la même forme que la population de base, à savoir par la donnée du nombre d'individus dans chaque catégorie³¹ pour chaque arrondissement (et donc pour chaque année prise en compte).

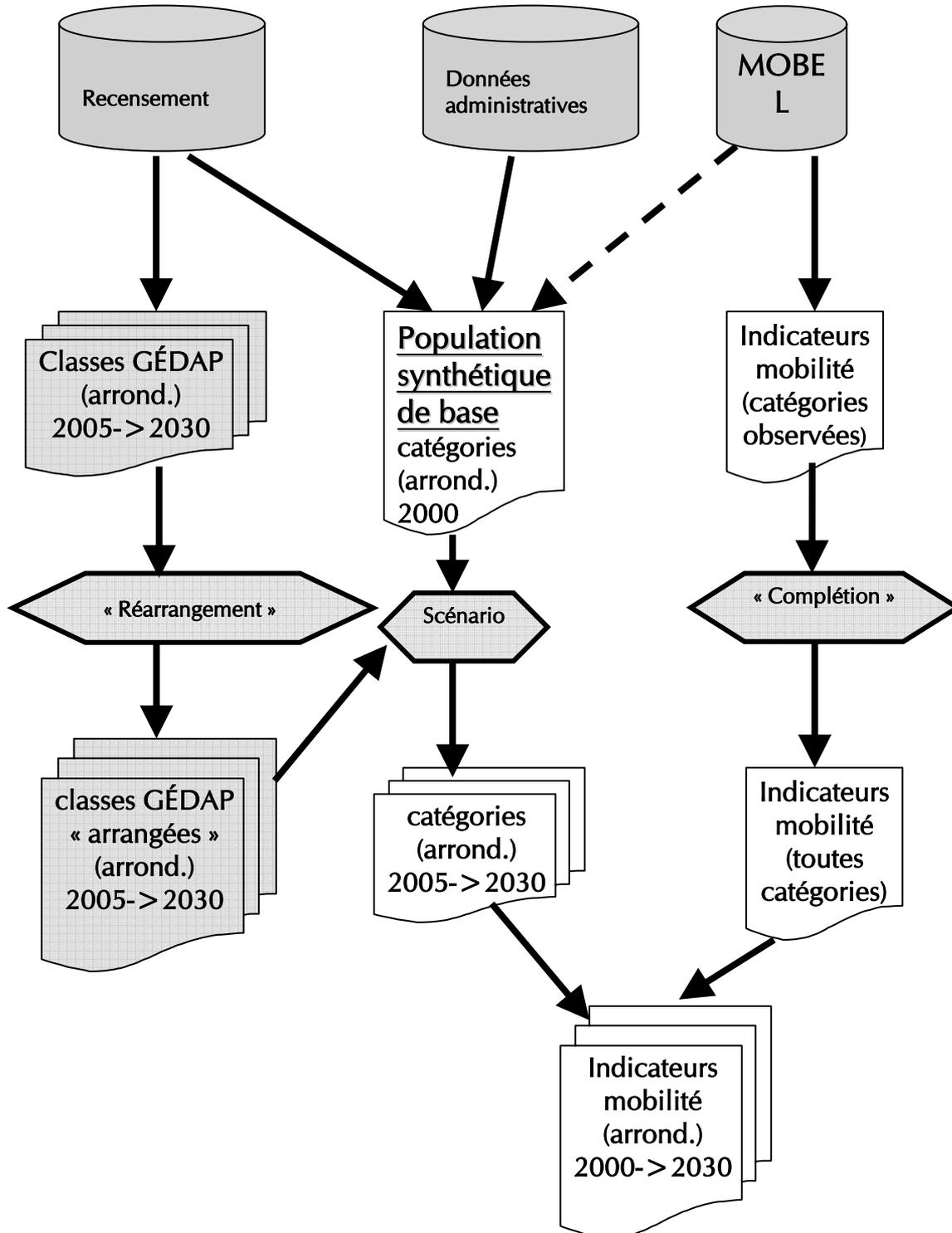
²⁹ Donc dans les deux classes 6 – 17 et 18 – 39 ans.

³⁰ Définie par le sexe, le type de ménage, le statut professionnel et le permis.

³¹ Caractérisée, rappelons le, par le croisement d'une classe de sexe, d'une classe d'âge, d'une classe de diplôme, d'une classe de statut professionnel et d'une classe de possession du permis.

Pour résumer toute la méthodologie mise en place pour estimer les profils de mobilité suivant les années et les scénarios, le schéma repris dans la Figure 24. **Figure 24.** décrit les principales étapes suivies.

Figure 24. schéma succinct des étapes suivies pour déterminer les profils de mobilité



2.2.8. Les précautions à prendre avec les résultats

Avant de présenter quelques exemples de résultats, il est bon de rappeler quelques éléments à garder à l'esprit lors de la lecture et de l'éventuelle interprétation de ces résultats.

La méthodologie décrite ci-dessus a clairement indiqué, qu'à plusieurs reprises, le processus d'estimation des indicateurs de mobilité passe par des procédures d'approximation (p.ex. lorsque nous estimons ces indicateurs pour des catégories socioéconomiques peu ou pas observées dans MOBEL).

De plus, des hypothèses ont dû être acceptées notamment dans l'élaboration des scénarios (p.ex. celle supposant une constance du taux d'acquisition de permis chez les 18 – 39 ans). Bien que nous ayons veillé à ce que ces hypothèses soient les plus réalistes possible, il n'en reste pas moins vrai qu'elles sont, à certains niveaux, réductrices. Néanmoins, comme dans tout travail de modélisation, il est nécessaire de rendre le modèle opérationnel en se fondant sur des hypothèses de travail comme nous l'avons fait ici.

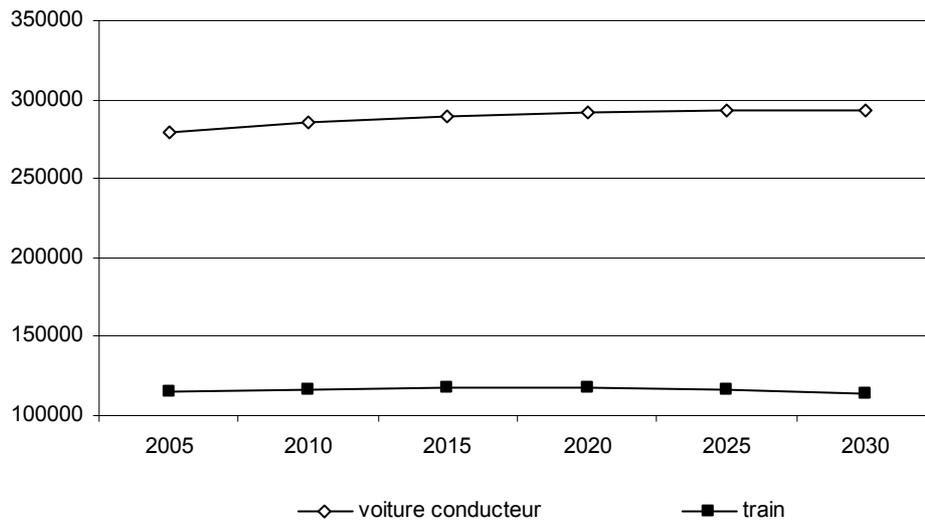
Enfin, il nous faut aussi mentionner les incohérences observées entre certains jeux de données, essentiellement ceux utilisés dans la construction de la population synthétique. Le rapport final SAMBA donne un peu plus de détails sur ces problèmes.

Mises ensemble, ces diverses causes possibles de biais nous amènent à prendre les résultats obtenus « cum grano salis ». Il est évident qu'il ne faut pas se braquer sur les valeurs absolues obtenues. Il est préférable plutôt de s'en tenir dans les interprétations à des comparaisons entre résultats soit pour des scénarios différents, soit pour des années successives ou bien encore entre arrondissements. Ce sont les tendances qui nous semblent davantage significatives que les chiffres absolus obtenus dans l'un ou l'autre cas.

2.2.9. Quelques résultats

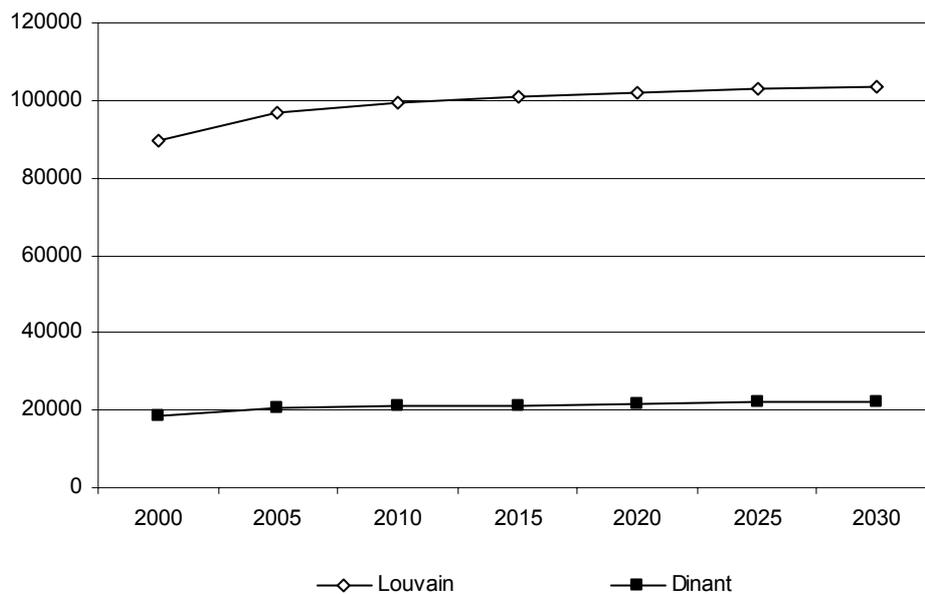
La Figure 25 nous montre comment évolue au cours du temps le nombre de déplacements de plus de 50 km réalisés en Belgique comme conducteur d'une voiture ou comme passager d'un train. Le scénario considéré ici est le « dynamique ». On voit donc bien que l'évolution du taux de possession du permis de conduire joue en faveur de la voiture dont la tendance est à la hausse alors qu'on observe un statu quo, voire une légère baisse pour le train. Notons cependant que la voiture semble malgré tout atteindre une sorte de palier qui ralentit sa croissance au cours du temps.

Figure 25. Évolution temporelle du nombre de déplacements de plus de 50 km réalisés en Belgique (cas du scénario dynamique)



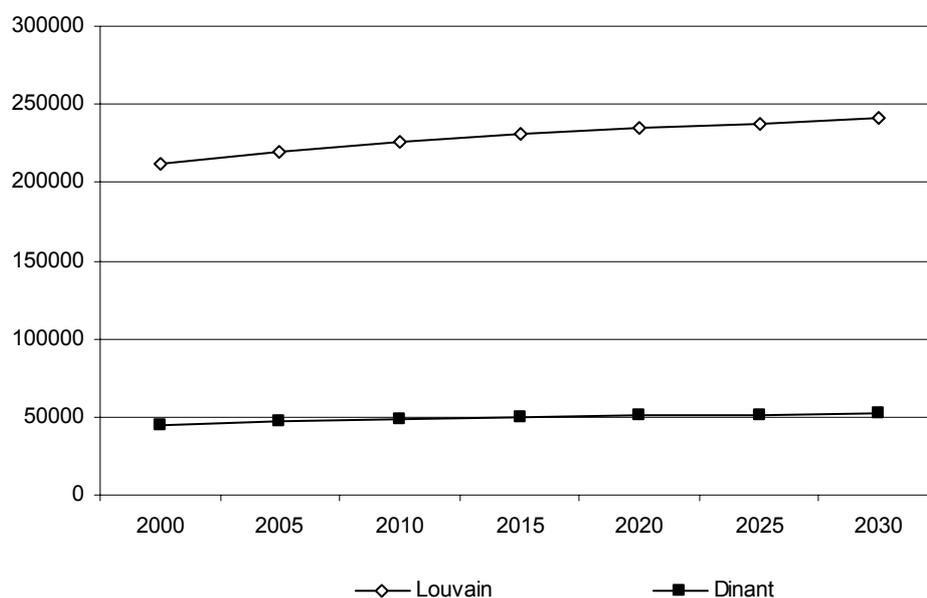
Si nous observons maintenant, dans le cas du scénario statique (SS), la répartition des destinations des déplacements dans la « hiérarchie » des zones géographiques³² auxquelles appartient leur origine (Figure 26 et Figure 27), nous pouvons voir pour les deux classes envisagées (entité et arrondissement) que l'évolution est très légèrement à la hausse et ce, davantage dans l'arrondissement de Leuven que dans celui de Dinant. Il semble donc que, dans le cas du scénario statique (SS), l'évolution démographique ne fait que très peu varier le choix et/ou l'« éloignement » des destinations des déplacements, en tout cas pour les deux arrondissements repris ici.

Figure 26. Évolution au cours du temps du nombre de déplacements ayant leur origine et leur destination dans une même entité (nouvelle commune) dans le cas du scénario statique



³² Successivement la commune (ancienne), l'entité (nouvelle commune), l'arrondissement, la province et la région.

Figure 27. Évolution au cours du temps du nombre de déplacements ayant leur origine et leur destination dans un même arrondissement dans le cas du scénario statique



Le scénario des diplômes dynamiques (SDD) nous montre lui que, lorsqu'on observe l'évolution du nombre de déplacements par mode, et plus spécifiquement ici, comme conducteur de voiture (Figure 28) ou comme passager d'un bus (Figure 29), on remarque une augmentation évidente de la mobilité au cours du temps. De nouveau cette tendance est plus marquée à Louvain qu'à Dinant (mais cela s'explique par des évolutions démographiques différentes et peut-être également par le caractère plus rural de l'arrondissement dinantais). Cet exemple nous montre l'impact réel de la possession de diplômes sur le nombre de déplacements réalisés, et cela plus particulièrement encore pour la voiture.

Figure 28. Évolution du mode « voiture conducteur » pour deux arrondissements dans le cas du scénario diplôme dynamique

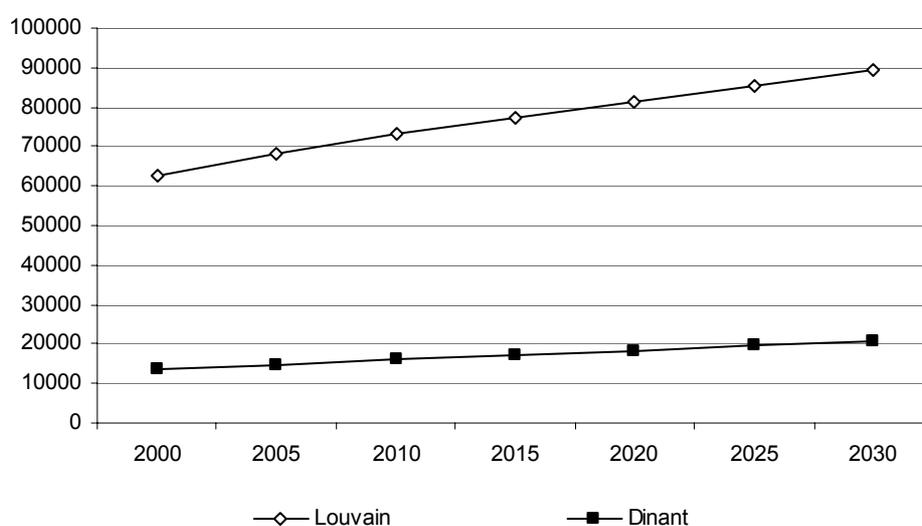
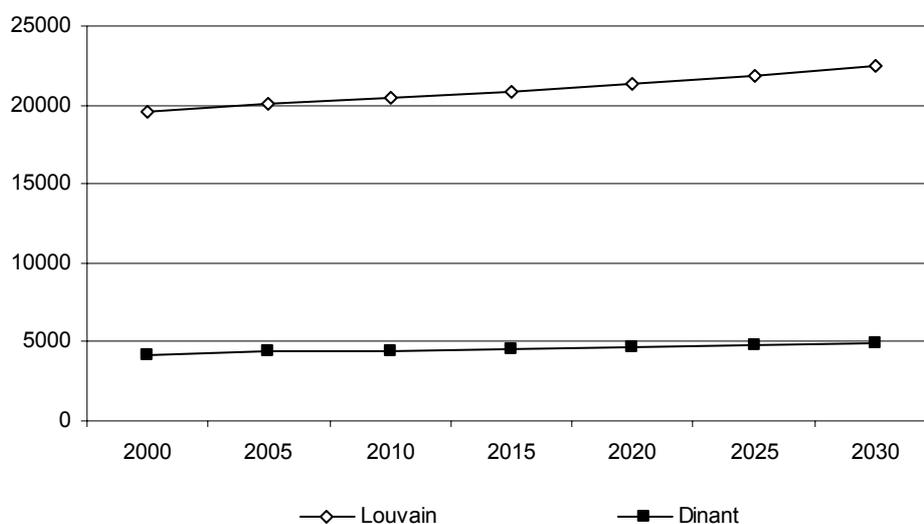


Figure 29. Évolution du mode « bus » pour deux arrondissements dans le cas du scénario diplôme dynamique



2.2.10. Quelques comparaisons entre scénarios

À titre de comparaison entre scénarios, nous nous sommes intéressés à l'évolution de l'utilisation de la voiture (comme conducteur) lors des déplacements pour le travail dans l'arrondissement d'Antwerpen.

La Figure 30 nous montre comment, suivant les scénarios envisagés, la part de ces déplacements augmente au cours du temps. On y remarque que cette augmentation est bien davantage marquée pour le scénario dynamique (SD) ainsi que, dans une moindre mesure, pour le scénario des diplômes dynamiques (SDD).

Par contre, si comme dans la Figure 31, on tient plutôt compte du nombre absolu de déplacements réalisés en voiture, comme conducteur, pour le travail, on voit que la plus forte augmentation est due au scénario des diplômes dynamiques (SDD) et que, cette fois, une légère différence entre le scénario « statique » (SS) et le scénario « alternatif » (SA1) est apparente.

Le fait qu'en nombres absolus, le scénario des diplômes dynamiques (SDD) passe avant le scénario dynamique (SD) alors qu'en pourcentages, on observe la situation inverse est le reflet du fait que le scénario des diplômes dynamiques (SDD) génère en général plus de déplacements pour le travail.

Figure 30. Pourcentage des déplacements pour le travail réalisés en voiture comme conducteur (arrondissement d'Antwerpen)

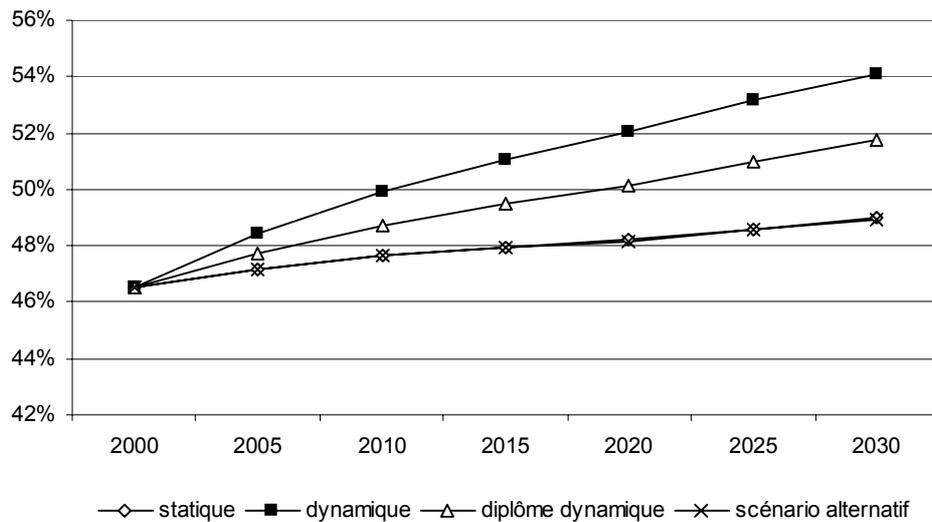
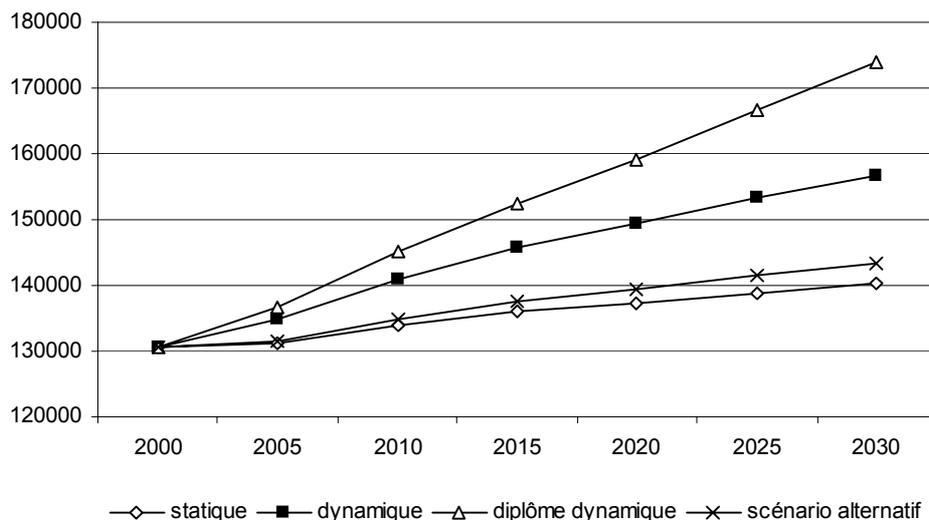


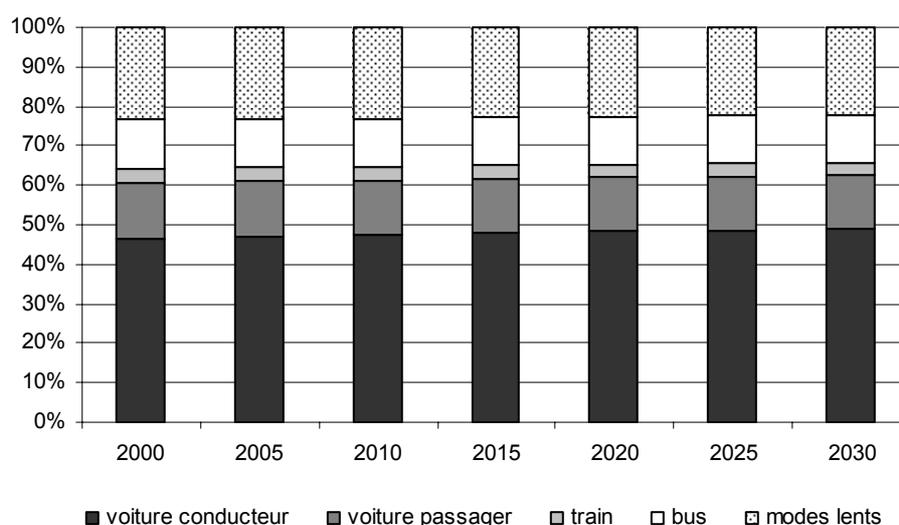
Figure 31. Nombre de déplacements pour le travail réalisés en voiture comme conducteur (arrondissement d'Antwerpen)



Les Figure 32 et Figure 33 présentent, quant à elles, une vue synthétique de l'évolution modale des trajets pour le motif « travail » de 2000 à 2030 et ce au niveau de toute la population belge. La Figure 32 illustre les résultats obtenus avec le scénario statique (SS) et la Figure 33 ceux découlant de l'utilisation du scénario dynamique (SD).

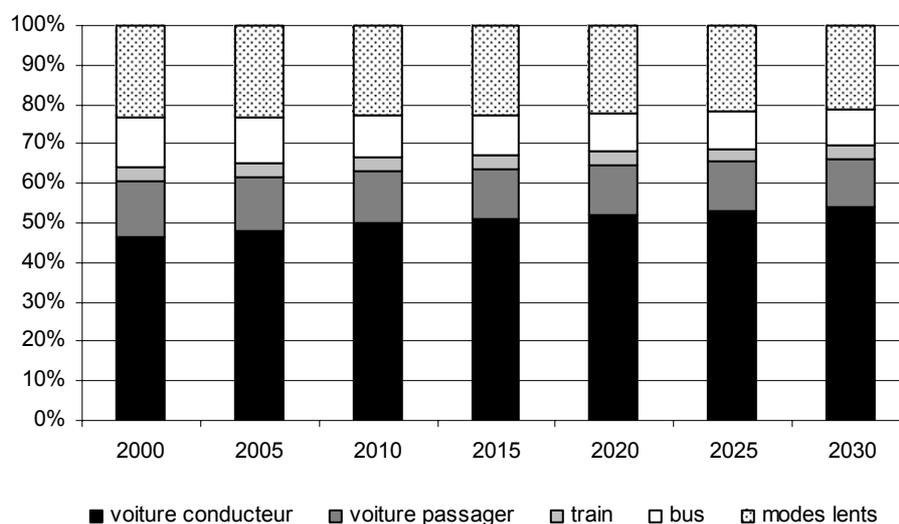
Le scénario statique (SS), bien qu'il ne considère que les effets de l'âge et des migrations internes, et ignore l'évolution de tous les autres facteurs, indique tout de même une légère augmentation du mode « voiture » (passager et conducteur) dans la répartition modale des déplacements pour le travail. Il nous semble pouvoir interpréter cette augmentation par le taux plus important de personnes âgées (et donc pouvant éprouver certaines difficultés à emprunter les transports en commun ou disposant d'assez de revenus pour recourir à la voiture) dans la population. Cependant, rien de réellement « dramatique » ne résulte de ce scénario statique (SS).

Figure 32. Évolution du “mode” en Belgique (scénario statique)



Si maintenant nous passons au scénario dynamique (SD) illustré à la Figure 33, nous pouvons facilement voir que la proportion du mode « voiture » est significativement plus marquée. Nous pouvons remarquer que le mode « voiture comme conducteur » prend de plus en plus le pas sur le mode « voiture comme passager » et sur le « bus ». Le partage entre le « train » et les « modes lents » reste globalement stable.

Figure 33. Évolution du « mode » en Belgique (scénario dynamique)



Les Figure 34 et Figure 35 représentent l’augmentation (de 2000 à 2030) de l’utilisation de la voiture, pour aller au travail, par arrondissement, d’abord dans le scénario statique (SS) puis dans le scénario dynamique (SD). Les 43 arrondissements apparaissent en abscisse et la Belgique est reprise à l’extrême droite de la figure (en blanc). Les barres noires sont les arrondissements situés en Flandres et les barres en hachurés sont les arrondissements wallons ; enfin, pour ce qui est de la région de Bruxelles Capitale, elle est représentée par une barre blanche avec points noirs.

Cet exemple nous montre les possibilités de désagrégation spatiale dans les résultats offertes par les méthodes développées dans le cadre de ce projet MOBIDIC.

Nous pouvons suggérer quelques commentaires d'après ces figures.

- Dans les deux figures, les différences d'évolution entre les arrondissements sont claires. Elles sont beaucoup plus marquées dans le scénario statique (SS) mais restent néanmoins significatives dans le scénario dynamique (SD). Ceci indique qu'une hypothèse globale d'évolution de l'utilisation de la voiture à travers tout le pays est probablement trop simpliste. Les arrondissements tels que Huy, Arlon ou Bruxelles semblent évoluer sur un chemin différent de ceux de Turnhout, de Hasselt ou de Namur
- Les différences entre les régions sont considérablement plus évidentes dans le scénario statique (SS), où l'évolution des arrondissements flamands est beaucoup plus en faveur de l'utilisation de la voiture que dans les arrondissements wallons. Mais cette divergence est atténuée dans le scénario dynamique (SD). Ceci semble indiquer un impact plus marqué dans le sud du pays de l'augmentation du taux de possession du permis de conduire dans la catégorie des 40-59 ans.
- Comme prévu, l'augmentation globale de la part relative de la voiture est plus importante dans le scénario dynamique (SD) que dans le scénario statique (SS). Il est néanmoins remarquable que celle-ci soit approximativement deux fois aussi importante dans le scénario dynamique (SD), malgré le fait que les hypothèses de ce scénario affectent surtout une seule catégorie d'âge (40-59) .

Figure 34. Augmentation de l'utilisation de la voiture dans le cas du scénario statique

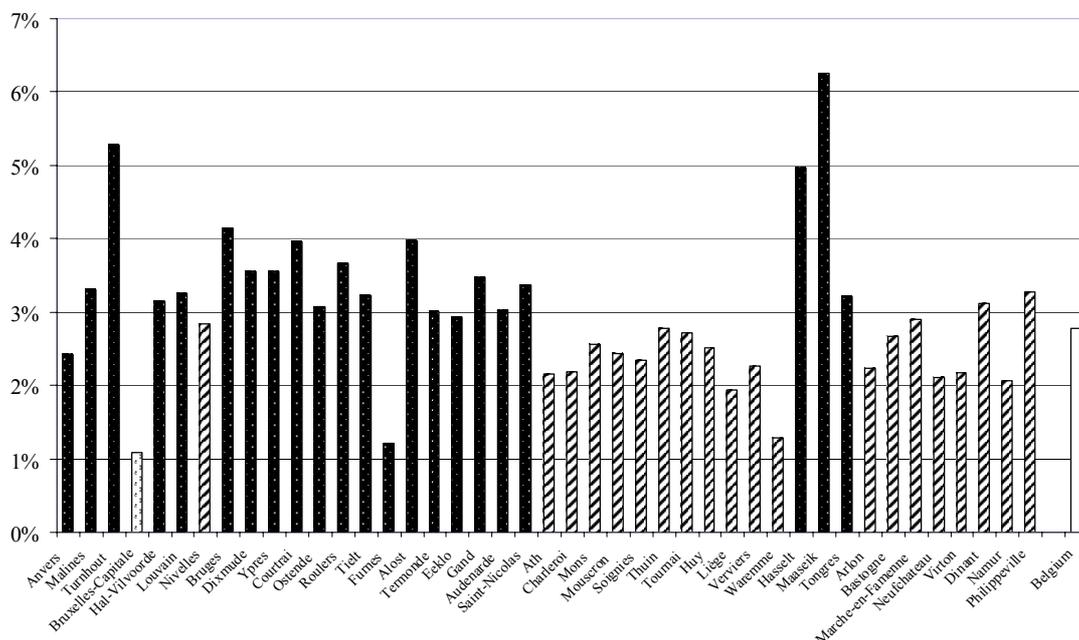
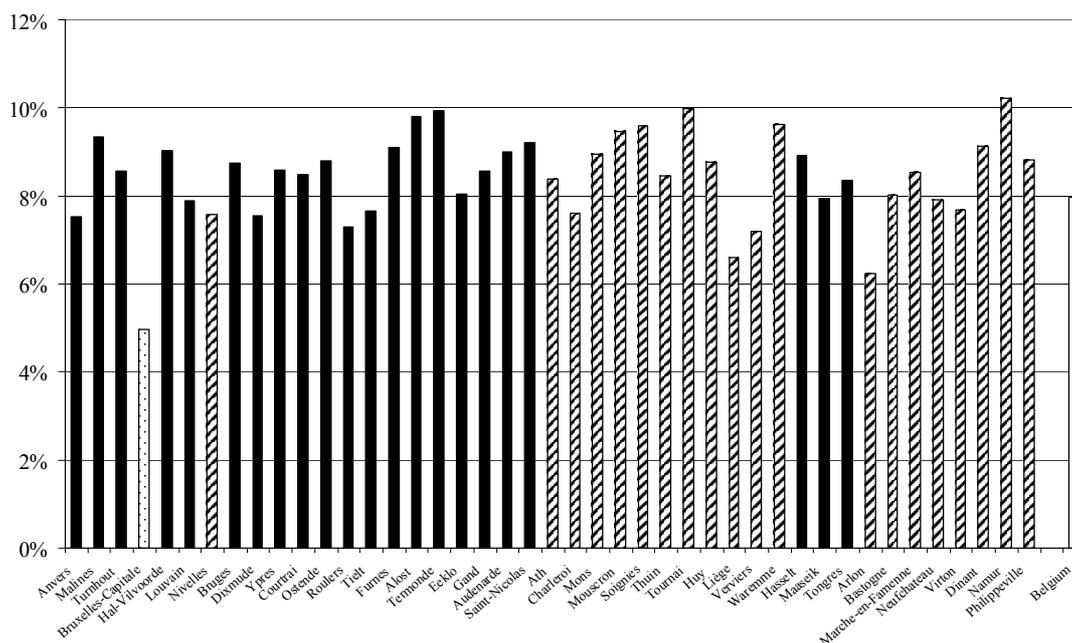


Figure 35. Augmentation de l'utilisation de la voiture dans le cas du scénario dynamique



2.2.11. Les améliorations possibles et les autres applications envisageables

La méthodologie qui a été mise au point pour ce module de mobilité pourrait encore être améliorée à différents niveaux.

Ainsi, la construction de la population de base à l'aide de la méthode des populations synthétiques pourrait être raffinée soit en pouvant avoir recours à des données moins incohérentes entre elles, soit en permettant l'adjonction de nouvelles sources de données ou de mises à jour de certaines bases déjà utilisées, soit encore en trouvant une manière de spécifier des poids différents pour chaque contrainte³³ dans la méthode des moindres carrés mise en œuvre ou enfin en faisant appel à des techniques bayésiennes pour cette construction (cf. le projet européen OPUS).

Des scénarios peut-être plus réalistes pourraient être développés pour les projections démographiques mais cela suppose disposer d'hypothèses, étayées par des données, plus détaillées sur l'évolution au cours du temps de certains des paramètres socioéconomiques pris en ligne de compte (p.ex. le taux d'inactifs).

Enfin disposer de davantage de données (et de données plus récentes) sur les comportements de mobilité permettrait de diminuer le biais qui peut être introduit au travers des procédures d'agglomération employées pour estimer les indicateurs de mobilité pour les catégories de population peu ou pas observées dans MOBEL.

Par ailleurs, de nombreuses applications s'ouvrent aux méthodes développées dans le cadre de ce projet et les techniques mises au point pourraient s'appliquer, mutatis mutandis, à d'autres

³³ En fonction notamment de la précision et/ou de l'âge des données auxquelles cette contrainte est relative.

indicateurs de mobilité voire à d'autres facteurs sociaux ou économiques qu'on pourrait, de la même façon, associer à des catégories de la population et dont on pourrait, comme on l'a fait ici avec la mobilité, estimer l'évolution temporelle en fonction de divers scénarios démographiques.

Bien entendu, un des grands avantages des procédures utilisées ici est que ce travail peut être mené à un niveau de désagrégation spatiale assez fin (celui des arrondissements en l'occurrence).

3. Le sous-modèle de distribution

A partir des déplacements calculés dans le module « profils de mobilité » et classés selon différents critères (mode, motif, etc.), le sous-modèle de distribution calcule le nombre total de trajets domicile-travail que génère et attire chaque arrondissement, comme une fonction de caractéristiques propres à chaque arrondissement comme l'emploi. Plus précisément, il produit des matrices origine-destination pour les déplacements domicile-travail entre les 43 arrondissements sur la période 2005-2030.

3.1. Introduction

La modélisation de la distribution des déplacements a pour objectif de produire des matrices de production-attraction des déplacements domicile-travail sur la période 2005-2030. Ces matrices permettront de calculer le nombre de voyageurs-kilomètres (pkm), une donnée essentielle pour le calcul des émissions liées aux déplacements domicile-travail.

La structure de ce chapitre s'établit de la manière suivante. La section 3.2 donne un aperçu général du modèle gravitaire, le modèle qui sera utilisé pour modéliser la distribution des déplacements domicile-travail. En particulier, nous utiliserons un modèle gravitaire à double contrainte qui prend compte des effets de barrière présents en Belgique dus à la frontière linguistique. Ensuite, la section 3.3 décrit la calibration du modèle sur la base de l'Enquête socioéconomique de 2001. Cette enquête et les recensements décennaux qui la précèdent, permettent d'obtenir un état des lieux très précis de ce type particulier de déplacements³⁴. Finalement, la section 3.4 utilise le modèle de distribution pour simuler le nombre total de pkm parcouru pour le motif domicile-travail.

3.2. La modélisation de la distribution des déplacements domicile-travail

Dans un modèle de transport classique à quatre étapes, le module de distribution prend place entre la génération de la demande et le module de choix modal. Il existe principalement trois familles de modèles utilisés pour la modélisation de la distribution des déplacements (Ortúzar and Willumsen, 2001): les modèles de croissance, les modèles de choix discret et les modèles d'interaction spatiale – également appelés modèles gravitaires. Les modèles de croissance ne seront pas développés ici car ils ne correspondent pas à l'outil méthodologique recherché. En effet, ces modèles, basés sur des taux de croissance relatifs aux origines et aux destinations, sont principalement utilisés pour des mises à jour de matrices ou des extrapolations de tendances à court terme. Étant donné que l'objectif de cet exercice est la projection de long terme de la distribution des déplacements entre les arrondissements, ce type de modèle ne fera pas partie de notre présentation théorique.

Les modèles récents de distribution des déplacements sont souvent fondés sur la théorie du choix discret. Étant donné que ce type de modèle requiert de nombreuses données et que les données nécessaires pour ce projet n'ont pu être obtenues à temps, ce type de modèle a été écarté. Une troisième approche a été choisie : l'application des modèles gravitaires basés sur des données agrégées.

³⁴ L'annexe A présente un aperçu historique des déplacements 'domicile-travail' en Belgique entre 1970 et 2001 sur la base des recensements décennaux.

La section 3.2.1 ci-dessous présente un certain nombre de définitions et de remarques et la section 3.2.2 les caractéristiques générales des modèles gravitaires. Enfin, la section 3.2.3 explique pourquoi il est important d'introduire des effets de barrière dans les modèles gravitaires compte tenu du contexte belge de notre analyse.

3.2.1. Définitions et remarques

La représentation matricielle des déplacements entre les zones de production et d'attraction permet de saisir pleinement les tenants et aboutissants de ce type de modélisation. Le Tableau 5 présente une matrice production-attraction standard comprenant Z zones et dans laquelle les T_{ij} sont le nombre de déplacements entre la zone de production i et la zone d'attraction j . P_i représente le nombre total de déplacements en provenance de la zone i et A_j représente le nombre total de déplacements à destination de la zone j .

Tableau 5. Forme générale d'une matrice production-attraction

Zone de production	Zone d'attraction				$\sum_j T_{ij}$
	1	2	... j	... Z	
1	T_{11}	T_{12}	... T_{1j}	... T_{1Z}	P_1
2	T_{21}	T_{22}	... T_{2j}	... T_{2Z}	P_2
...					
i	T_{i1}	T_{i2}	... T_{ij}	... T_{iZ}	P_i
...					
Z	T_{Z1}	T_{Z2}	... T_{Zj}	... T_{ZZ}	P_Z
$\sum_i T_{ij}$	A_1	A_2	... A_j	... A_Z	$\sum_{ij} T_{ij} = T$

3.2.2. Modèles gravitaires : caractéristiques générales

Les modèles gravitaires, plus couramment appelés modèles d'interaction spatiale, ont été utilisés pour la première fois dans la littérature géographique contemporaine. L'objectif initial de ces modèles était d'analyser les migrations. Dans les premiers modèles, les géographes se référaient à la loi de la gravitation de Newton pour expliquer les migrations. Ils partaient de l'hypothèse que le nombre de migrants allant de zone i à la zone j , T_{ij} , dépendait de la masse des zones de production et d'attraction (le nombre d'habitants, respectivement M_i et M_j) et de la distance entre les deux zones :

$$\hat{T}_{ij} = (aM_iM_j) / d_{ij}^2,$$

a étant un facteur d'équilibrage. Par analogie avec le modèle gravitationnel, ces modèles sont donc qualifiés - surtout dans la littérature traitant de la modélisation du transport - de modèles gravitaires. C'est aussi le terme qui sera utilisé dans la suite du texte.

La forme générale du modèle gravitaire³⁵ peut être formulée comme suit :

$$\hat{T}_{ij} = f_1(v_i) f_2(w_j) f_3(c_{ij})$$

où v_i représente une variable mesurant la capacité d'émission de la zone de production i , w_j représente une variable mesurant l'attraction de la zone j , et c_{ij} représente la variable de séparation entre i et j . Afin de simplifier la présentation du modèle, nous ne considérons qu'une seule variable d'émission et d'attraction par zone, même si les zones peuvent être décrites par plus d'une variable.

La variable de séparation c_{ij} est donnée soit par la distance entre les deux zones, soit par le temps ou le coût du déplacement entre i et j . La plupart du temps, elle est exprimée par une combinaison linéaire du coût et du temps du déplacement. La variable est alors appelée 'coût généralisé du transport'.

En général, des fonctions puissance sont utilisées pour représenter l'influence des deux variables d'émission et d'attraction :

$$f_1(v_i) = v_i^\mu, f_2(w_j) = w_j^\alpha.$$

Quant à la variable de séparation, deux formes fonctionnelles dominent dans la littérature: la fonction puissance,

$$f_3(c_{ij}) = c_{ij}^\beta$$

et la fonction exponentielle,

$$f_3(c_{ij}) = \exp(\beta c_{ij}).$$

Il existe trois familles de modèles : les modèles non contraints, les modèles à simple contrainte (soit contrainte de production, soit contrainte d'attraction) et les modèles à double contrainte. C'est ce dernier type de modèle qui s'avère le plus pertinent pour modéliser la distribution des déplacements domicile-travail.

Les modèles à double contrainte assurent la reproduction des volumes de flux produits par les zones de production et les volumes de flux attirés par les zones d'attraction.

$$\hat{T}_{ij} = a_i b_j f_3(c_{ij})$$

avec

$$a_i = P_i / \sum_j b_j f_3(c_{ij})$$

$$b_j = A_j / \sum_i a_i f_3(c_{ij}).$$

³⁵ Les modèles gravitaires peuvent être déduits de plusieurs principes, le premier étant une analogie avec le concept physique de l'entropie. Pour plus de détails à ce sujet, lire Ortúzar et Willumsen (2001, p. 174-178) et Immers et Stada (1998, p. 70-71). Toutefois, cette approche a été critiquée parce qu'elle procède par analogie et ne se fonde pas sur un raisonnement rigoureux, basé sur des hypothèses. Le second principe repose sur des fondements économiques. En effet, les modèles gravitaires peuvent être obtenus au moyen de la théorie de choix discret. Voir à ce sujet Immers et Stada (1998, p. 71-73) et Quinet et Vickerman (2004, p. 91-92).

3.2.3. Introduction d'effets de barrière dans les modèles gravitaires

Tout modèle d'interaction spatiale doit prendre en compte les caractéristiques propres au pays étudié si celles-ci ont un impact sur les interactions. En ce qui concerne la Belgique, le découpage linguistique semble être une caractéristique déterminante. En effet, la frontière linguistique qui sépare le pays en deux entités distinctes a très probablement un impact sur le nombre de déplacements qui la traversent.

L'importance de la prise en compte de cette caractéristique est confirmée, d'une part, par les premiers exercices de calibration de modèles de distribution et, d'autre part, par une étude de Dujardin (2001). Les résultats de nos premiers tests de calibration (d'un modèle sans effet de barrière) montrent une grande différence entre les flux estimés et les flux observés. Une analyse plus fouillée révèle que les flux intrarégionaux sont sous-estimés alors que les flux interrégionaux sont surestimés. Cette constatation est la résultante typique de la présence d'un effet de barrière. En effet, la frontière linguistique peut représenter une barrière aux déplacements pour beaucoup: travailler dans un environnement linguistique différent de celui de son lieu d'habitation représente pour eux une difficulté non négligeable.

L'étude de Dujardin (2001) analyse les migrations alternantes entre les différents arrondissements administratifs en Belgique. Elle vise plus particulièrement à mettre en évidence et à quantifier l'effet de barrière de la frontière linguistique sur ces schémas de déplacement. Dujardin (2001) calibre deux modèles gravitaires sur base des données du recensement général de la population de 1991. Un modèle non contraint est d'abord calibré. Les résidus de celui-ci sont cartographiés et montrent bien un effet de barrière dû à la frontière linguistique. Un modèle doublement contraint est ensuite calibré afin de pouvoir résumer l'effet de partition territoriale en un indice unique. Ce coefficient unique est défini comme la réduction relative des flux interrégionaux par rapport aux flux intrarégionaux :

$$perm = \frac{T_{inter} / \hat{T}_{inter}}{T_{intra} / \hat{T}_{intra}}$$

où T_{intra} et \hat{T}_{intra} sont les totaux des flux intrarégionaux observés et prédits par le modèle, et T_{inter} et \hat{T}_{inter} sont les totaux des flux interrégionaux observés et prédits par le modèle. Ce coefficient est appelé indice de perméabilité.

Alors que la cartographie des résidus du modèle non contraint montre sans conteste un effet réducteur des interactions dû à la frontière linguistique, le coefficient de perméabilité s'élève à 0,41 lorsque les flux intra-arrondissements ne sont pas pris en compte. Autrement dit, la perméabilité de la frontière linguistique n'est que de 41%, ce qui implique une division par 2,5 environ des migrations alternantes inter-régionales par rapport aux migrations alternantes intrarégionales. Notons que l'arrondissement de Bruxelles-Capitale est exclu de cette analyse en raison de son caractère atypique.

Après avoir démontré par deux fois l'existence d'un effet de partition imputé à la frontière linguistique, il importe de montrer comment formuler un modèle structurel qui tienne compte à la fois d'une variable d'éloignement (coût, distance,...) mais aussi du découpage territorial.

Pour ce faire, il importe avant tout de se rendre compte que les raisonnements développés dans les parties précédentes peuvent mener à une conception méthodologique incorrecte. En effet, le facteur d'éloignement (interaction spatiale) est présenté ci-dessus comme le principal déterminant des échanges et les effets de barrière ou d'appartenance (interaction territoriale)

comme un déterminant secondaire, alors que cette hypothèse du primat de l'éloignement sur l'appartenance n'a rien d'évident sur le plan théorique. En effet, les principales théories permettant de justifier les modèles d'interaction spatiale peuvent également s'appliquer aux modèles d'interaction territoriale. À la lumière de ce nouvel éclairage, il convient donc de nuancer la procédure d'estimation d'effet de barrière des sections précédentes qui apparaît biaisée sur le plan statistique. Il est également à remarquer que cette procédure repose sur une hypothèse théorique discutable d'indépendance entre les phénomènes d'interaction spatiale et d'interaction territoriale.

Il ressort de ce reciblage méthodologique qu'il n'y a aucune raison théorique de privilégier l'éloignement à l'appartenance (ou le contraire) mais qu'il est judicieux de tenir compte de leur complémentarité. En se basant sur Grasland (2001) différents modèles d'interaction spatiale et territoriale sont développés ci-dessous.

Le modèle d'interaction spatiale et territoriale le plus simple est celui basé sur l'hypothèse selon laquelle l'effet d'éloignement et l'effet d'appartenance se combine de manière multiplicative. Autrement dit, l'effet de barrière lié au franchissement d'une limite territoriale est le même, quelle que soit la valeur prise par la variable d'éloignement. Selon cette hypothèse de proportionnalité, et en prenant toujours comme exemple une fonction puissance, un modèle à double contrainte peut être formulé comme suit :

$$T_{ij} = a_i b_j c_{ij}^{\beta} (1/\gamma)^{B_{ij}},$$

ou ($B_{ij}=0$) représente l'appartenance des unités territoriales à une même maille territoriale et ($B_{ij}=1$) représente l'appartenance des unités territoriales à des mailles territoriales différentes. Les flux franchissant une limite territoriale subissent donc une réduction moyenne correspondant à une division par γ .

Cette première formulation de modèle d'interaction spatiale et territoriale est donc basée sur une hypothèse d'indépendance entre l'effet de barrière et le facteur d'éloignement. Or, on peut imaginer que les personnes situées près d'une frontière subissent moins l'effet de barrière car elles sont mieux informées de la situation dans la maille territoriale voisine, connaissent mieux sa langue, etc. Il convient donc de prendre en compte ce nouvel élément dans la formulation d'un autre modèle d'interaction spatiale et territoriale. Une manière de procéder est de définir une loi d'interaction spatiale différente pour relations intramailles et pour les relations intermailles. Ces deux équations seront ensuite réduites en une seule décrivant l'ensemble des flux intramailles et intermailles. Ainsi la décroissance des flux en fonction du facteur d'éloignement sera différente selon que les flux traversent la frontière ou pas. Si l'on se place dans le cas d'un modèle doublement contraint avec fonction d'interaction spatiale parétienne, on obtient le modèle général suivant:

$$T_{ij} = a_{i0} b_j c_{ij}^{\beta_0} \left[(a_{i1}/a_{i0}) c_{ij}^{(\beta_1 - \beta_0)} \right]^{B_{ij}}.$$

La fonction décrivant la variation de l'effet de barrière en fonction du facteur d'éloignement est donnée par:

$$\theta(c_{ij}) = (a_{i1}/a_{i0}) c_{ij}^{(\beta_1 - \beta_0)}.$$

Si la décroissance des interactions en fonction du facteur d'éloignement est plus rapide pour les flux intermaillages que pour les flux intramaillages ($|\beta_0| < |\beta_1|$), l'effet de barrière aura tendance à s'accroître avec le facteur d'éloignement.

De plus, une analyse des bassins d'emploi par De Wasseige *et al.* (2000) montre bien le caractère atypique de l'arrondissement de Bruxelles-Capitale. En effet, le processus de classification hiérarchique ascendante, qui consiste en la constitution d'un arbre organisant les relations de dépendance en matière d'emploi entre les 589 communes belges, se termine par Bruxelles. Cette dernière, vers laquelle ont convergé, par regroupements successifs, toutes les autres communes, figure donc au sommet de cet arbre.

Alors qu'en 1991 70,3% des actifs occupés travaillent dans leur arrondissement de résidence, ce chiffre tombe à 43,3% pour l'arrondissement de Bruxelles-Capitale. Cet arrondissement étant bilingue, bien que géographiquement enclavé en Région flamande, sa prise en compte dans l'analyse de l'effet de barrière est complexe. Il existe principalement deux manières d'introduire cet arrondissement-région dans la forme structurelle du modèle. La première consiste à considérer tous les déplacements vers l'arrondissement de Bruxelles-Capitale comme des déplacements intramaillages. En d'autres termes, il n'existe pas plus de barrière à aller travailler à Bruxelles que dans sa propre région. La deuxième possibilité est de considérer la frontière qui entoure la région de Bruxelles-Capitale comme une barrière aux déplacements.

Les différentes combinaisons qu'il est possible d'obtenir en croisant tous ces effets (effets de frontière fixe et/ou variable, une ou deux frontières,...) seront testées dans la section 3.3.

3.3. Calibration du modèle de distribution des déplacements

3.3.1. Méthode

La calibration est un processus qui consiste à obtenir les valeurs des coefficients associés aux différentes variables explicatives d'un modèle de manière à ce qu'elles reproduisent le plus fidèlement possible les déplacements dans l'année de base.

Le nombre de déplacements domicile-travail entre deux zones peut être considéré comme une donnée de comptage, uniquement constituée de valeurs entières non négatives. C'est pourquoi des méthodes de régression de données de comptage peuvent être appliquées pour estimer les paramètres du modèle gravitaire³⁶. Cameron et Trivedi (1998) fournissent une excellente description de l'analyse de régression des données de comptage. Le modèle de Poisson et le modèle binomial négatif sont des modèles de comptage fréquemment utilisés.

Dans un souci de clarté, seule la fonction exponentielle de $f(c_{ij})$ sera envisagée dans la suite du texte.

³⁶ Une autre approche consisterait à appliquer une régression par la méthode des moindres carrés. Cette approche est présentée plus en détail dans Fotheringham et O'Kelly (1989) ainsi que dans Grasland (2001).

3.3.1.1. Le modèle de Poisson

Le modèle de Poisson est le modèle le plus fréquemment utilisé pour les données de comptage. Compte tenu de la valeur des variables explicatives, T_{ij} suit une loi de Poisson de moyenne λ_{ij} . Dans le cas du modèle gravitaire à double contrainte, λ_{ij} est donné par :

$$\lambda_{ij} = \exp(d_i + h_j + \beta_0(1 - B_{ij}) \ln c_{ij} + \beta_1 B_{ij} \ln c_{ij}).$$

avec $d_i = \ln a_i$ et $h_j = \ln b_j$. Le modèle de Poisson part de l'hypothèse que la moyenne conditionnelle est égale à la variance conditionnelle. Ce phénomène est appelé équidispersion.

β_0 et β_1 peuvent être considérés comme des élasticités. L'estimation de β_0 donne l'élasticité de la moyenne conditionnelle au coût généralisé de transport pour les déplacements intrarégionaux. L'estimation de β_1 donne la même information pour les déplacements interrégionaux.

Les estimations de d_i et h_j assurent que les contraintes de production et d'attraction sont respectées pour toutes les zones³⁷.

L'hypothèse d'équidispersion du modèle de Poisson n'est pas toujours respectée et doit par conséquent être testée. Une possibilité consiste à préciser une distribution permettant une modélisation de la variance plus flexible que celle de Poisson. Le modèle binomial négatif est un modèle courant dont le modèle de Poisson constitue un cas particulier. La présence d'équidispersion peut donc être vérifiée dans le cadre du modèle binomial négatif³⁸. Le modèle binomial négatif est présenté dans la section suivante.

3.3.1.2. Le modèle binomial négatif

Le modèle binomial négatif (voir Cameron et Trivedi (1998, p. 70-72) ainsi que Greene (2003, p. 744-745)) résulte d'une modification du modèle de Poisson où la moyenne est μ_{ij} , reformulée comme suit:

$$\mu_{ij} = \exp(b_i + h_j + \beta_0(1 - B_{ij}) \ln c_{ij} + \beta_1 B_{ij} \ln c_{ij} + \varepsilon_{ij}) = \lambda_{ij} \exp(\varepsilon_{ij})$$

où $\exp(\varepsilon_{ij})$ suit une distribution gamma de moyenne 1 et de variance $\psi = 1/\theta$. La probabilité que T_{ij} corresponde au nombre de déplacements entre i et j est donnée par:

$$P(T_{ij}) = \frac{\Gamma(\theta + T_{ij})}{\Gamma(\theta)\Gamma(T_{ij} + 1)} \left(\frac{\theta}{\theta + \lambda_{ij}} \right)^\theta \left(\frac{\lambda_{ij}}{\theta + \lambda_{ij}} \right)^{T_{ij}}$$

Le modèle contient un paramètre additionnel ψ tel que $\omega_{ij} = \lambda_{ij}(1 + \psi\lambda_{ij})$. Le modèle de Poisson est un cas particulier de modèle binomial négatif (avec $\psi = 0$). L'hypothèse selon laquelle le paramètre de dispersion est égal à zéro peut être testée, l'alternative étant qu'il excède zéro.

³⁷ L'annexe B démontre cette caractéristique du modèle de Poisson.

³⁸ Pour d'autres tests de surdispersion, le lecteur se reportera à Cameron et Trivedi (1998). Ces auteurs présentent aussi plusieurs approches en vue de résoudre le problème de surdispersion, entre autre l'estimation d'un modèle binomial négatif.

3.3.2. Données nécessaires à la calibration

Deux types d'informations sont nécessaires pour calibrer le modèle de distribution des déplacements:

- une matrice production-attraction pour les déplacements domicile-travail entre les zones NUTS3 en Belgique ;
- le coût généralisé du transport entre ces zones.

Cette section explique comment cette information a été collectée. La principale source d'informations est l'Enquête socioéconomique de 2001 qui fournit:

- le nombre de déplacements domicile-travail entre les zones NUTS3 en Belgique;
- la distance moyenne de ces déplacements;
- et leur durée moyenne.

Ces données doivent être vérifiées afin d'éliminer d'éventuelles incohérences. La section 3.3.2.1. décrit ces vérifications, et enfin, la section 3.3.2.2. présente le mode de calcul du coût généralisé du transport à partir de l'information obtenue dans l'Enquête socioéconomique.

3.3.2.1. L'Enquête socioéconomique de 2001

Étant donné que les données individuelles de l'Enquête socioéconomique de 2001 ne sont pas accessibles en tant que telles, nous sommes partis de données agrégées au niveau des zones NUTS3 fournies par P. Deboosere and D. Willaert de la VUB. Pour chaque zone NUTS3 et chaque mode de transport, la série de données brutes contient le nombre de déplacements, la distance moyenne et la durée moyenne du déplacement aller et retour vers les 43 zones. Pas moins de 29 combinaisons de modes de transport ont été envisagées³⁹. Par conséquent, 53 621 observations ($43 * 43 * 29$) ont été réalisées. Il a également été pris en considération que certaines personnes font plus d'un déplacement domicile-travail par jour. Les séries de données mentionnent également le nombre de déplacements par semaine.

Les 29 combinaisons de modes de transport sont regroupées en six modes principaux. Le critère de classement choisi était l'ordre d'importance mis en avant par l'Enquête socioéconomique de 1991 : rail, transport scolaire ou organisé par l'employeur, voiture privée (conducteur et passager), bus/tram/métro, vélomoteur/moto, vélo et marche à pied. A titre d'exemple, la combinaison rail/voiture privée est associée au rail⁴⁰.

Une première analyse des données a révélé un certain nombre d'incohérences comme par exemple des personnes faisant la navette de Bruxelles à Ostende à pied ou des personnes se déplaçant à des vitesses irréalistes. Par conséquent, des vérifications ont dû être réalisées. Pour ce faire, nous avons procédé en deux étapes. Dans un premier temps, les distances des déplacements ont été contrôlées et des corrections ont été introduites lorsque nécessaire. Ensuite, les vitesses des différents modes de transport allant d'une zone à l'autre ont été comparées. Lorsque la vitesse moyenne dépassait un niveau maximum, prédéfini pour chaque mode de transport, les données étaient adaptées⁴¹.

³⁹ L'annexe C présente la liste complète des 29 combinaisons de modes de transport ainsi que leurs codes.

⁴⁰ Voir l'annexe C pour un aperçu des associations réalisées.

⁴¹ La méthodologie de vérification est résumée dans l'annexe C.

3.3.2.2. Coût généralisé de transport

Le coût généralisé de transport (CGT) est la somme du coût monétaire (CM) et du coût lié au temps nécessaire pour effectuer le déplacement – que nous appellerons ci-dessous le coût temps (CT). Le coût monétaire ainsi que le coût temps dépendent du mode de déplacement m , de la distance parcourue entre l'arrondissement de production i et l'arrondissement d'attraction j ainsi que du temps nécessaire pour parcourir cette distance.

$$CGT_{ij}^m = CM_{ij}^m + CT_{ij}^m$$

Etant donné qu'une seule matrice production-attraction, incluant les déplacements effectués par tous les modes est modélisée, il convient de pondérer les CGT par mode (CGT_{ij}^m) ainsi que par leur part respective (P_{ij}^m) afin d'obtenir une valeur moyenne pondérée pour chaque paire de zones (CGT_{ij}).

$$CGT_{ij} = \sum_m P_{ij}^m * CGT_{ij}^m$$

Pour calculer les coûts généralisés moyens, seuls les modes envisagés par le GRT dans les projections des déplacements domicile-travail sont pris en considération: la voiture/conducteur, la voiture/passager, le bus/le tram/le métro, le rail et les modes lents.

Coût monétaire

Le coût monétaire de chaque mode et paire de zones est obtenu en multipliant la distance moyenne d'un déplacement effectué entre une paire de zones par le coût monétaire par pkm du mode utilisé. L'annexe E décrit plus en détail le calcul du coût monétaire du transport pour l'année 2000. Les résultats de cet exercice sont résumés dans le Tableau 6. Pour le mode voiture, on part de l'hypothèse d'un taux d'occupation moyen de 1,4 (SPF Mobilité et Transports, 2001).

Tableau 6. Le coût monétaire du transport de passagers en 2000

Mode de transport		Coût monétaire
Voiture - conducteur		20,65 €/100pkm
Voiture - passager		20,65 €/100pkm
Rail		4,77 €/100pkm
Bus/tram/métro	De Lijn	0,31 €/passager
	STIB	0,34 €/passager
	TEC	0,31 €/passager
Modes lents		0 €/100pkm

Coût temps

Le coût temps est obtenu en multipliant les temps de déplacement exprimés en heures et tirés de l'Enquête socioéconomique de 2001, par des valeurs de temps exprimées en euros par heure. Malheureusement, certaines valeurs spécifiques du temps pour la Belgique ne sont pas

disponibles. Nous nous sommes donc basés sur des données pour les Pays-Bas obtenues auprès de l'organisation néerlandaise AVV⁴² (voir Tableau 7).

Tableau 7. Valeur du temps (€/h), 2004

	Déplacements domicile –travail
Voiture	8,37
Train	8,43
Bus/tram/métro	7,85

Source: AVV

Les coûts temps sont calculés pour les 29 modes de transport envisagés. Pour ce faire, de nouvelles hypothèses ont été formulées, qui sont résumées dans l'annexe E. Ces coûts sont ensuite agrégés pour obtenir un coût pour les cinq modes principaux prévus dans MOBIDIC. Cette opération consiste en la pondération des principaux modes par le nombre de déplacements effectués par ces modes, et ce pour chaque paire de zones.

3.3.3. Résultats de l'estimation

Dans notre exercice d'estimation, la variable dépendante est le nombre de déplacements domicile-travail entre les zones NUTS3 en Belgique en 2001 durant une semaine de travail typique. Pour l'année 2001, l'Enquête socioéconomique totalise 15,86 millions de déplacements pour une semaine de travail typique. Pour 71% de ces déplacements, la zone de production est la même que la zone d'attraction.

60% des déplacements ont lieu en Flandre, 24% en Wallonie et 7,6% au sein de la Région de Bruxelles-Capitale. Les autres déplacements traversent une frontière entre les Régions.

Pour 13,5% des paires de zones, on n'observe pas de déplacements domicile-travail. 75% des déplacements domicile-travail se concentrent dans 2,2% des paires de zones. Ce sont les zones NUTS3 d'Anvers (1,2 million de déplacements par semaine) et de Bruxelles (1,1 million de déplacements par semaine) qui totalisent le nombre le plus élevé de déplacements domicile-travail.

Quant aux variables explicatives, elles dépendent du modèle testé. Sept formulations de modèles sont comparées. Ce sont les caractéristiques suivantes qui les distinguent.

- Le type d'effet de barrière :
Trois types d'effet de barrière sont envisagés : un effet fixe, un effet variable et une combinaison des deux (voir aussi section 3.2.3). Dans le premier cas, le modèle inclut une variable binaire, la valeur zéro étant appliquée aux déplacements intrarégionaux et la valeur une aux déplacements interrégionaux.
Dans le second cas, les paramètres de la fonction coût peuvent varier selon qu'il s'agisse de déplacements intrarégionaux et interrégionaux. Le troisième cas est, comme déjà précisé, une combinaison des deux premiers cas.
- La forme fonctionnelle de la fonction coût:
Trois formulations de la fonction coût sont comparées: la fonction puissance, la fonction exponentielle et une combinaison des deux (voir aussi section 3.2.2.)
- La définition des déplacements intrarégionaux et interrégionaux :

⁴² Adviesdienst Verkeer en Vervoer (Service de conseils en matière de circulation et de transport) et Eijgenraam et al. (2000).

Trois définitions possibles sont testées. Elles sont résumées dans le Tableau 8.

- Définition 1: Tous les déplacements ne traversant pas une frontière régionale sont intrarégionaux, tous les autres déplacements sont interrégionaux.
- Définition 2: Tous les déplacements domicile-travail, à l'exception de ceux entre la Flandre et la Wallonie sont intrarégionaux. La différence par rapport à la définition 1 est que les déplacements au départ et à destination de la Région de Bruxelles-Capitale sont considérés comme intrarégionaux.
- Définition 3: Tous les déplacements ne traversant pas une frontière régionale sont intrarégionaux. Les déplacements interrégionaux sont divisés en deux groupes: ceux incluant Bruxelles comme zone de production ou d'attraction et ceux ne concernant pas Bruxelles.

Tableau 8. Définitions possibles des déplacements intrarégionaux et interrégionaux

	Définition 1	Définition 2	Définition 3
Flandre-Flandre Wallonie-Wallonie Bruxelles-Bruxelles	<u>In</u> trarégional	<u>In</u> trarégional	<u>In</u> trarégional
Flandre-Wallonie Wallonie-Flandre	<u>Int</u> errégional	<u>Int</u> errégional	<u>Int</u> errégional <u>1</u>
Flandre-Bruxelles Bruxelles-Flandre	<u>Int</u> errégional	<u>In</u> trarégional	<u>Int</u> errégional <u>2</u>
Wallonie- Bruxelles Bruxelles-Wallonie	<u>Int</u> errégional	<u>In</u> trarégional	<u>Int</u> errégional <u>2</u>

Dans tous les modèles, les variables explicatives incluent des variables binaires pour les zones de production et d'attraction. Pour une zone (zone de Philippeville), aucune variable binaire n'est incluse dans le but d'éviter tout problème de multicollinéarité.

Les Tableau 9 et Tableau 10 présentent une sélection des résultats des estimations. Pour chaque modèle, les tableaux donnent les valeurs estimées des coefficients ainsi que la t-statistique correspondante. L'avant-dernière ligne du tableau donne la valeur estimée du paramètre de dispersion (ψ) du modèle de distribution binomiale négative. Quant à la dernière ligne, elle présente la valeur de la fonction de log-vraisemblance.

Les premiers résultats de l'estimation montrent que le paramètre de dispersion est significativement différent de zéro dans tous les modèles. On constate une surdispersion. C'est pourquoi le modèle de distribution binomiale négative s'avère plus adéquat que le modèle de Poisson pour réaliser une estimation de la distribution des déplacements.

Les modèles 1 à 3 partent de l'hypothèse d'un effet de barrière variable et utilisent la même formulation pour la fonction coût : une fonction puissance pour les déplacements intrarégionaux⁴³ et une combinaison de la fonction puissance et de la fonction exponentielle pour les déplacements interrégionaux. Cela revient à une estimation du modèle de distribution binomiale négative avec pour moyenne :

$$\mu_{ij} = \exp(b_i + h_j + \beta_0(1 - B_{ij}) \ln c_{ij} + \beta_1 B_{ij} \ln c_{ij} + \beta_2 B_{ij} c_{ij} + \varepsilon_{ij})$$

⁴³ Des tests ont montré que la performance du modèle n'est pas améliorée significativement en incluant aussi pour les déplacements intrarégionaux une combinaison de la fonction puissance et de la fonction exponentielle.

où B_{ij} est égal à zéro pour les déplacements intrarégionaux et à un pour les déplacements interrégionaux. Il est à remarquer que dans ce type de modèle, l'élasticité des déplacements intrarégionaux au coût généralisé est donnée par β_0 . Pour les déplacements interrégionaux, l'élasticité est donnée par $\beta_1 + \beta_2 \cdot C_{ij}$.

Les modèles 1 à 3 se distinguent par leur définition des déplacements intrarégionaux et interrégionaux. Le modèle 1 part de l'hypothèse que seuls les déplacements effectués dans une même région sont intrarégionaux (définition 1) alors que le modèle 2 considère aussi comme intrarégionaux les déplacements au départ et à destination de Bruxelles (définition 2). Le modèle 3 se fonde sur la définition 3 : seuls les déplacements effectués dans la même région sont intrarégionaux et les autres sont divisés en deux groupes : ceux incluant Bruxelles comme zone de production ou d'attraction et ceux ne concernant pas Bruxelles. Dans tous les modèles, les coefficients estimés de la fonction de coût sont significatifs et ont le signe attendu. Tous les coefficients des variables binaires de production sont significatifs alors que certaines variables binaires d'attraction ne le sont pas.

La comparaison des modèles 1 à 3 nous permet d'analyser quelle est la meilleure définition des déplacements intrarégionaux et interrégionaux. Sur la base des valeurs de log-vraisemblance données dans le Tableau 9, on peut conclure que le modèle 2 (-5373,0) est à préférer au modèle 1 (-5390,4). La valeur de la log-vraisemblance du modèle 3 (-5370,5) est meilleure que celle du modèle 2. Afin d'évaluer si le modèle 3 est significativement meilleur que le modèle 2, le test de rapport de vraisemblance doit être réalisé. La statistique de ce test est la suivante :

$$-2(LV_{\text{la plus élevée}} - LV_{\text{la moins élevée}}) \sim \chi^2_{\text{(différence entre le nombre de paramètres estimés dans les deux modèles)}}$$

où $LV_{\text{la plus élevée}}$ et $LV_{\text{la moins élevée}}$ constituent les log-vraisemblances la plus élevée et la moins élevée des deux modèles comparés.

Dans la comparaison des modèles 2 et 3, la statistique de rapport de vraisemblance est de 5,004. Cette valeur devrait être comparée à la statistique Chi-Carré avec des degrés de liberté égaux à la différence entre le nombre de paramètres estimés dans les deux modèles. Dans notre cas, le nombre de degrés de liberté est égal à trois, ce qui correspond à une statistique Chi-Carré de 7,81. Sur la base de ce test, l'hypothèse selon laquelle le modèle 3 est significativement meilleur que le modèle 2 peut être rejetée. Cela signifie que tous les déplacements domicile-travail, excepté ceux entre la Flandre et la Wallonie, peuvent être considérés comme intrarégionaux. Seul 1,2% de tous les déplacements observés dans l'Enquête socioéconomique peut dès lors être considéré comme interrégional.

Le modèle 2 montre que l'élasticité des déplacements intrarégionaux au coût généralisé (pondéré) est de -3,74 et est très significative. L'élasticité des déplacements interrégionaux au coût généralisé est de $-4,68 + 0,06 \cdot C_{ij}$. Elle est plus élevée que l'élasticité des déplacements intrarégionaux et diminue avec le niveau du coût généralisé.

Les deux modèles suivants sont ensuite testés pour vérifier si une forme différente de la fonction de coût peut améliorer les performances du modèle. La différence entre le modèle 4 et le modèle 2 est que le modèle 4 utilise une fonction puissance pour les déplacements intrarégionaux et interrégionaux. Il s'agit d'un modèle de distribution binomiale négative avec pour moyenne :

$$\mu_{ij} = \exp(b_i + h_j + \beta_0(1 - B_{ij}) \ln c_{ij} + \beta_1 B_{ij} \ln c_{ij} + \varepsilon_{ij})$$

Comme le montre la valeur de la log-vraisemblance (-5473,2), le modèle donne des résultats beaucoup moins bons que le modèle 2 (-5373,0). Enfin, le modèle 5 prévoit une fonction exponentielle pour tous les déplacements et une moyenne calculée comme suit:

$$\mu_{ij} = \exp(b_i + h_j + \beta_0(1 - B_{ij})c_{ij} + \beta_1 B_{ij}c_{ij} + \varepsilon_{ij})$$

Ses performances sont encore moins bonnes que celles du modèle 4. La valeur de la log-vraisemblance dans le modèle 5 est de -6687,4. Cette analyse permet donc de conclure qu'il est préférable d'utiliser une fonction puissance pour les déplacements intrarégionaux et une combinaison de fonctions puissance et exponentielle pour les déplacements interrégionaux, comme dans le modèle 2.

Ensuite, nous analysons si ce modèle peut être amélioré en introduisant d'autres définitions pour l'effet de barrière. Pour ce faire, le Tableau 10. compare le modèle 2 avec deux autres modèles. Les deux modèles englobent une combinaison d'une fonction exponentielle et d'une fonction puissance pour la fonction coût et partent de la définition 2 pour les déplacements intrarégionaux et interrégionaux. Le modèle 6 inclut un effet de barrière fixe, un effet qui ne dépend pas du niveau des coûts généralisés. La moyenne du modèle de distribution binomiale négative est donnée par:

$$\mu_{ij} = \exp(b_i + h_j + \beta_0 \ln c_{ij} + \beta_1 c_{ij} + B_{ij}\kappa + \varepsilon_{ij})$$

L'effet de barrière est égal à $\exp(-1,54) = 0,21$ et est significatif. Pour un niveau donné du coût généralisé, le nombre de déplacements interrégionaux représente seulement 21% du nombre de déplacements intrarégionaux. Néanmoins, les performances du modèle 6 s'avèrent moins satisfaisantes que celles du modèle 2, la valeur de log-vraisemblance étant de -5391,6.

En ce qui concerne le modèle 7, celui-ci combine un effet de barrière fixe et un effet de barrière variable. La moyenne correspondante du modèle de distribution binomiale négative est:

$$\mu_{ij} = \exp(b_i + h_j + \beta_0(1 - B_{ij})\ln c_{ij} + \beta_1 B_{ij}\ln c_{ij} + \beta_2 B_{ij}c_{ij} + B_{ij}\kappa + \varepsilon_{ij})$$

Si l'on compare la log-vraisemblance du modèle 7 avec celle du modèle 2, les performances du modèle 7 s'avèrent plus satisfaisantes (voir Tableau 10). Toutefois, le coefficient de la variable binaire relative à l'effet de barrière n'est pas significativement différent de zéro. De plus, le test de rapport de vraisemblance montre que le modèle 7 n'est pas significativement meilleur que le modèle 2. La valeur du test de log-vraisemblance est de 3,28, ce qui est moins que la statistique du Chi-Carré avec un degré de liberté (3,84).

L'analyse des modèles 1 à 7 nous permet de conclure que le modèle 2 est le plus performant. Ce modèle sera dès lors utilisé pour la simulation de la matrice de distribution des déplacements pour la période 2005-2030. Pour rappel les caractéristiques du modèle 2 sont les suivantes : introduction d'un effet de barrière variable, de la définition 2 des déplacements interrégionaux et intrarégionaux, d'une fonction puissance pour le coût des déplacements intrarégionaux et d'une combinaison de la fonction puissance et de la fonction exponentielle pour le coût des déplacements interrégionaux.

Tableau 9. Comparaison des différents modèles de distribution des déplacements avec effet de barrière variable

	Modèle 1		Modèle 2		Modèle 3		Modèle 4		Modèle 5	
	Coef.	t-stat.	Coef.	t-stat.	Coef.	t-stat.	Coef.	t-stat.	Coef.	t-stat.
Ln(GC ^a) intrarégional (Déf. 1 & 3)	-3,74	-114,00			-3,78	-41,27				
Ln(CG) intrarégional (Déf. 2)			-3,74	-117,77			-3,62	-116,68		
Ln(CG) interrégional (Déf. 1)	-4,66	-94,00								
Ln(CG) interrégional (Déf. 2)			-4,68	-97,89			-4,08	-136,74		
Ln(CG) interrégional 1 (Déf. 3)					-4,70	-65,27				
Ln(CG) interrégional 2 (Déf. 3)					-3,44	-21,33				
CG intrarégional (Déf. 2)									-0,19	-58,60
CG interrégional (Déf. 1)	0,05	16,50			0,003	0,51				
CG interrégional (Déf. 2)			0,06	17,50					-0,22	-66,61
CG interrégional 1 (Déf. 3)					0,06	16,10				
CG interrégional 2 (Déf. 3)					-0,02	-1,37				
Var. binaire production – Anvers	14,67	76,56	14,67	78,09	14,75	63,46	14,38	74,80	7,75	24,95
Var. binaire production – Bruxelles	15,56	83,59	13,95	76,47	13,52	46,02	13,65	73,71	7,00	23,74
Var. binaires production – autres zones	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Var. binaire attraction – Anvers	3,01	19,24	3,01	19,57	3,01	19,57	3,04	19,05	2,82	9,45
Var. binaire attraction – Bruxelles	5,38	34,56	3,79	25,41	3,27	12,64	3,75	24,43	3,34	11,68
Var, binaires attraction – autres zones	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Paramètre de dispersion (ψ)	0,22	18,62	0,21	18,32	0,21	17,70	0,23	18,29	1,07	21,60
Log-vraisemblance		-5390,4		-5373,0		-5370,5		-5473,2		-6687,4

* CG = coût généralisé pondéré

Tableau 10. Comparaison des modèles de distribution de déplacements avec effets de barrière différents

	Modèle 2		Modèle 6		Modèle 7	
	Coef.	t-stat.	Coef.	t-stat.	Coef.	t-stat.
Ln(CG*) intrarégional (Déf. 2)	-3,74	-117,77			-3,75	-115,15
Ln(CG) interrégional (Déf. 2)	-4,68	-97,89			-4,41	-28,75
Ln(CG)			-4,22	-53,75		
CG interrégional (Déf. 2)	0,06	17,50			0,05	9,03
CG			0,03	8,06		
Var. binaire barrière (Déf. 2)			-1,54	-36,89	-0,68	-1,83
Var. binaire production – Anvers	14,67	78,09	15,44	67,11	14,70	78,10
Var. binaire production – Bruxelles	13,95	76,47	14,74	64,75	13,99	76,34
Var. binaires production – autres zones	...	...	...	...	...	...
Var. binaire attraction – Anvers	3,01	19,57	3,01	19,06	3,00	19,59
Var. binaire attraction – Bruxelles	3,79	25,41	3,80	24,86	3,79	25,51
Var. binaires attraction – autres zones	...	...	...	...	...	...
Paramètre de dispersion (ψ)	0,21	18,32	0,23	18,18	0,21	18,26
Log-vraisemblance		-5373,0		-5391,6		-5371,3

* CG = coût généralisé pondéré

3.4. Simulation des déplacements domicile-travail pour la période 2005-2030

3.4.1. Introduction

Pour pouvoir simuler le transport domicile-travail pour la période 2005-2030, il faut construire une matrice production-attraction pour la période de projection. Pour ce faire, nous partons du modèle de distribution des déplacements présenté dans la section précédente. Pour chaque année de la période de projection, nous utilisons deux types d'informations : le nombre projeté de déplacements « produits » et « attirés » dans chaque zone NUTS3, et le coût généralisé pondéré du transport. Ces données sont expliquées de façon plus détaillée au point ci-dessous.

Le coût généralisé pondéré est ensuite combiné au modèle de distribution présenté dans le but de déduire le nombre total de pkm pour chaque mode de transport. La méthodologie sera décrite. Le nombre total de pkm obtenu sert alors d'input pour le calcul des émissions atmosphériques du transport domicile-travail.

3.4.2. Données

Pour pouvoir effectuer une simulation des migrations quotidiennes sur la période 2005-2030, nous avons besoin d'informations sur le nombre projeté de déplacements domicile-travail « produits » et « attirés » dans chaque zone NUTS3, ainsi que sur le coût généralisé pondéré du transport.

3.4.2.1. Production de déplacements domicile-travail par zone NUTS3

L'évaluation de la production future de déplacements entre le domicile et le lieu de travail dans chaque zone NUTS3 s'appuie sur les travaux de l'équipe du GRT. Elle se base sur l'évolution attendue de la population par catégorie de personnes, et cette évolution est ensuite combinée à celle du nombre moyen de déplacements domicile-travail, également par catégorie de personnes. Il faut souligner que la projection suppose des taux d'emploi fixes pour chaque catégorie de personnes, alors que certaines études montrent que ces taux changeront au fil des ans (cf. Englert et al., 2002).

Comme indiqué dans la description du projet, les parts relatives occupées par les différents modes de transport ne sont pas déterminées de façon endogène au sein du modèle. Pour l'année de référence, ces parts ont été reprises de l'Enquête socioéconomique. Le GRT a proposé pour sa part une estimation alternative, calculée sur la base de l'étude MOBEL. Les parts des différents modes de transport provenant de ces deux sources sont parfois très différentes pour certaines zones, et même pour la Belgique dans son ensemble. De manière générale, comme l'indique le Tableau 11, le GRT attribue une plus grande part au bus/tram/métro et aux modes de transport lents, et donc une part moindre à la voiture et au rail. Dans notre analyse, nous avons choisi d'utiliser les informations contenues dans l'Enquête socioéconomique, étant donné qu'elles sont basées sur un échantillon beaucoup plus grand.

Tableau 11. Les parts des modes de transport en Belgique – GRT vs Enquête socioéconomique

	Part dans les déplacements domicile-travail	
	GRT	Enquête socioéconomique 2001
Voiture	60,4 %	75,7 %
Bus/tram/métro	12,76 %	4,9 %
Rail	3,5 %	4,4 %
Modes lents	23,4 %	15,0 %

Pour les années à venir, nous avons appliqué l'évolution des parts relatives des différents modes de transport, telle qu'elle est prévue par le GRT, aux parts correspondantes de l'année de référence. Les projections réalisées par le GRT se fondent sur l'évolution de la population et de sa composition, ainsi que sur l'évolution du nombre de titulaires d'un permis de conduire. Il convient de souligner que les parts relatives occupées par les différents modes de transport sont censées ne pas être influencées par l'évolution des coûts généralisés. Un modèle plus complet devrait prendre cet aspect en considération et déterminer le choix des modes de transport de façon endogène.

Nous avons défini trois scénarios en concertation avec les autres partenaires :

- (1) le **scénario A0** qui combine le scénario statique (SS) du GRT avec le scénario démographique de base (SB) du GÉDAP,
- (2) le **scénario A1** qui combine le scénario dynamique (SD) du GRT avec avec le scénario démographique de base (SB) du GÉDAP et
- (3) le **scénario B** qui combine le scénario statique (SS) du GRT avec le scénario démographique SA1 du GÉDAP.

Un aperçu général des scénarios étudiés est fait dans la section 1.5 du rapport (Figure 2). Les caractéristiques des scénarios du GÉDAP et du GRT sont décrites de façon plus détaillée dans la section 2 du rapport.

3.4.2.2. Attraction de déplacements domicile-travail par zone NUTS3

Le deuxième type d'informations dont nous avons besoin est le nombre de déplacements domicile-travail « attirés » dans chaque zone NUTS3. L'hypothèse retenue ici est que ce nombre est proportionnel au nombre d'emplois dans chaque zone NUTS3. Dans cette section, nous expliquons comment les projections de l'évolution de l'emploi dans ces zones ont été générées pour la période 2005-2030. Notre approche est de type « top-down », au sens où l'évolution de l'emploi total en Belgique est considérée comme un élément exogène donné par les projections du GRT (pour les trois scénarios). Sur la base d'un modèle économétrique, l'emploi national total est ensuite désagrégé à l'échelon NUTS3.

Le modèle utilisé pour la désagrégation spatiale est présenté ci-dessous. Il faut souligner que les résultats de l'estimation devraient être considérés comme étant provisoires. Pour parvenir à une période d'estimation suffisamment longue (1970-2003), certaines données historiques ont été rétopolées de façon assez rudimentaire. De plus, il s'agit d'un modèle partiel, vu qu'il ne prend en considération que l'influence de la population sur l'emploi. On ne dispose malheureusement pas encore d'un modèle explicatif plus complet.

Modélisation de l'évolution du marché régional de l'emploi en Belgique

Dans ce premier essai de modélisation, nous nous concentrons uniquement sur le lien entre l'emploi et la population. Les facteurs communément cités pour expliquer la relation entre ces deux variables peuvent être classés en deux grandes catégories. Par hypothèse, les changements en matière d'emploi ne peuvent se produire que sous l'effet de changements démographiques (évolution naturelle ou migrations), d'une modification du taux d'emploi ou des migrations alternantes. La population est dès lors considérée comme une offre de travail potentielle, tandis que l'emploi est considéré comme une demande de travail réalisée. Un deuxième type d'explication, bien que moins important, repose sur le rôle joué par les marchés de consommation.

Le modèle se fonde sur un panel de données annuelles couvrant la période 1970-2003 pour les 43 zones NUTS3 en Belgique⁴⁴. Les données relatives à l'emploi sont basées sur le lieu de travail. Dans les Comptes régionaux officiellement publiés, l'emploi à l'échelon NUTS3 n'est disponible que pour la période 1995-2003⁴⁵. Les données démographiques au niveau NUTS3, disponibles à partir de 1989, sont produites et publiées par l'INS⁴⁶. Dans le modèle, la population d'âge actif (15-64 ans) est utilisée comme variable explicative. Pour les années antérieures, les chiffres relatifs à l'emploi et à la population ont été rétopolés par le BFP au départ d'informations issues des recensements décennaux et des séries historiques relatives à l'emploi (provenant de l'INS et du ministère de l'Emploi et du Travail).

Le modèle proposé est de nature dynamique et fait la distinction entre les effets d'ajustement à court terme et l'ajustement tendant vers l'équilibre à long terme. Sa forme est celle d'un modèle de correction d'erreur (ECM) standard. Pour l'instant, seul le lien entre l'emploi et la population d'âge actif a été explicitement incorporé dans le modèle. Le modèle contrôle les éventuelles hétérogénéités régionales non observées à l'aide de termes constants spécifiques à chaque région (modèle à *effets fixes*)⁴⁷. A long terme, les variations relatives en matière d'emploi sont imposées⁴⁸ de manière à être équivalentes aux fluctuations (relatives) de la population d'âge actif.

Le modèle proposé prend donc la forme suivante :

$$d \ln(EMP_{i,t}) - d \ln(EMP_t) = c_i + a_1 * d \ln(POP_{i,t}) + a_2 * (\ln EMP_{i,t-1} - \ln POP_{i,t-1})$$

où :

$EMP_{i,t}$ = emploi dans la région i durant l'année t ;

EMP_t = emploi total pour l'année t ;

$POP_{i,t}$ = population d'âge actif (géographiquement pondérée⁴⁹) dans la zone NUTS3 i durant l'année t .

Les résultats de l'estimation sont présentés en résumé dans le Tableau 12.

⁴⁴ Dont la somme équivaut à l'emploi national, à l'exclusion de l'emploi à l'étranger.

⁴⁵ Cf. ICN (2005).

⁴⁶ Voir: <http://ecodata.mineco.fgov.be/mdn/bevolking.jsp>.

⁴⁷ Basé sur les résultats de tests statistiques, le modèle à effets fixes est préférable à un modèle sans effets fixes spécifiques à chaque région (un seul terme constant) ainsi qu'à un modèle à effets aléatoires.

⁴⁸ "Imposé" au sens où il est basé sur des preuves statistiques: un coefficient différent de 1 est statistiquement rejeté.

⁴⁹ Les séries démographiques sont géographiquement pondérées de manière à rendre compte des trajets quotidiens interrégionaux.

Tableau 12. Résultats de l'estimation réalisée à l'aide du modèle de marché régional de l'emploi

Coefficient	Valeur	t-stat.
a_1	0,19	1,9
a_2	-0,028	-5,4
R ² ajusté		
0,182		

Le modèle tente d'expliquer les évolutions divergentes de l'emploi régional et national. La réaction de l'emploi à l'évolution démographique est décomposée, d'une part, en une réaction instantanée (le terme exprimant la réaction à un *changement* démographique) et, d'autre part, en un ajustement tendant vers l'équilibre à long terme (le terme exprimant la réponse à l'effet de la population de $t-1$). Le coefficient à court terme (0,19) et le coefficient pour l'ajustement à long terme (-0,028) ont tous deux le signe attendu et sont statistiquement significatifs.

Sur la base du modèle décrit plus haut et des hypothèses exogènes relatives à l'évolution de la population d'âge actif, une prévision concernant l'emploi au niveau NUTS3 a été générée (première étape de la simulation).

Extrapolation des résultats de la simulation

Les résultats de la première étape de la simulation ont été extrapolés, dans un deuxième temps, de manière à obtenir les chiffres relatifs à l'emploi national total en Belgique, sur la base des projections du GRT. Autrement dit, les résultats de la première étape de la simulation ont été utilisés comme clés de répartition pour désagréger les totaux belges.

3.4.2.3. Le coût généralisé du transport

L'évolution du coût généralisé pondéré du transport dépend de l'évolution des coûts monétaires, des coûts temps et du poids relatif des différents modes de transport.

Projection du coût monétaire

Plusieurs hypothèses sont ici prises concernant l'évolution des prix des différents postes détaillés ci-dessus qui composent les coûts de transport. Nous supposons que les prix des transports publics restent constants en termes réels. Nous faisons également l'hypothèse d'une politique inchangée en terme de taxation. Ceci concerne la TVA, les accises, les taxes de circulation, d'immatriculation, ainsi que toutes autres taxes relatives aux coûts de transport.

Pour les coûts liés à l'automobile, la projection comporte un certain nombre d'hypothèses sur la composition du parc automobile et sur l'évolution des différentes catégories de coûts.

— Composition du parc automobile

Les parts futures des différents types de véhicules, présentées au Tableau 13, sont reprises à Logghe et al. (2006).

Tableau 13. Composition du parc de véhicules

Type de véhicule	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Essence	59%	50%	42%	35%	29%	25%	23%
Hybride (essence)			2%	4%	7%	9%	10%
Diesel	40%	49%	51%	46%	40%	36%	33%
Hybride (diesel)			0%	6%	12%	15%	17%
LPG	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
CNG			4%	8%	12%	15%	16%

Source: Logghe et al. (2006)

— Achat et coût annuel

Pour les technologies standard (essence, diesel, LPG), l'achat et le coût annuel d'une voiture sont supposés constants en termes réels. Pour les véhicules hybrides, un coût supplémentaire par rapport aux technologies standard est pris en compte à hauteur de 5000 euros jusqu'en 2010, diminuant progressivement pour atteindre 3250 euros en 2020. Pour les véhicules CNG, nous postulons un coût supplémentaire de 3000 euros par rapport aux voitures à essence en 2010, diminuant de façon linéaire pour atteindre 2500 euros en 2020. Le coût annuel des technologies hybrides est censé être le même que pour les véhicules non hybrides. De même, le coût annuel des voitures roulant au CNG est censé être équivalent à celui des voitures à essence.

— Coûts variables à l'utilisation

Les coûts futurs liés au carburant dépendront de l'évolution de la consommation et des prix des carburants. Pour les voitures à essence et diesel, l'évolution de la consommation est influencée par la part que représentent les véhicules hybrides dans le parc automobile. Le Tableau 14 donne l'évolution projetée de la consommation par véhicule.

Tableau 14. Evolution de la consommation des véhicules

Type de véhicule	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Essence (moyenne) (l/100km)	8,8	8,5	7,9	7,3	7,0	7,0	7,2
Diesel (moyenne)(l/100km)	7,1	6,8	6,4	5,9	5,7	5,8	6,0
LPG (l/100km)	11,1	10,9	10,4	9,8	9,5	9,8	10,4
CNG (m ³ /100km)		7,8	8,7	8,9	8,7	8,3	8,1

Sources : TEMAT Belgium et TEMAT Flanders

L'évolution des prix des carburants est basée sur CE (2005). Elle est présentée dans le Tableau 15.

Tableau 15. Evolution des prix réels des carburants (toutes taxes comprises)(2000 = 100)

Type de carburant	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Essence (moyenne)	100	104,0	98,9	99,3	101,1	104,5	106,8
Diesel (moyenne)	100	108,0	105,0	105,7	108,2	112,8	115,3
LPG	100	107,0	102,9	104,0	108,2	115,8	119,8
CNG	100	124,2	161,9	159,8	163,0	172,3	174,2

Par hypothèse, les autres coûts variables sont censés rester constants en termes réels.

Le Tableau 16 présente une synthèse des coûts liés à l'automobile. Ce sont ces coûts globaux qui seront utilisés dans les projections des matrices production-attraction.

Tableau 16. Projection des coûts monétaires du transport par voiture (€/100vkm)

Année	Type de carburant	Coûts Variables			Coûts annuels	Coûts d'achat	Total général
		Carburant	Autres	Total			
2010	Essence	8,35	7,76	16,12	6,86	10,77	33,75
	Diesel	5,35	5,50	10,85	4,57	8,90	24,31
	LPG	4,20	4,82	9,02	4,92	6,79	20,73
	CNG	3,93	7,76	11,70	6,86	13,19	31,75
	Moyenne						27,44
2020	Essence	7,51	7,76	15,28	6,86	11,05	33,19
	Diesel	4,92	5,50	10,41	4,57	9,27	24,26
	LPG	4,02	4,82	8,84	4,92	6,79	20,55
	CNG	3,98	7,76	11,75	6,86	13,12	31,73
	Moyenne						27,15
2030	Essence	8,19	7,76	15,95	6,86	11,36	34,18
	Diesel	5,51	5,50	11,01	4,57	9,48	24,66
	LPG	4,87	4,82	9,69	4,92	6,79	21,40
	CNG	3,96	7,76	11,73	6,86	13,49	32,08
	Moyenne						28,01

Projections de la valeur du temps

L'étude effectuée par AVV sur les valeurs du temps (cf. supra) comporte une réflexion sur l'évolution temporelle de celles-ci. En effet, plusieurs recherches montrent que la valeur du temps augmente lorsque les revenus réels croissent. L'évolution de la valeur du temps peut donc être obtenue à partir de l'élasticité-revenu de la valeur du temps et des projections des taux de croissance réelle des salaires. L'élasticité-revenu de la valeur du temps est reprise de l'étude effectuée par AVV pour les Pays-Bas⁵⁰. En ce qui concerne les déplacements domicile-travail, cette élasticité s'élève à 0,48. Les taux de croissance réelle des salaires nous sont fournis par le modèle HERMES du Bureau fédéral du Plan pour la période 2000-2015. Cette série est ensuite extrapolée sur base de la moyenne des trois dernières périodes. La combinaison de la croissance des salaires et de l'élasticité-revenu de la valeur du temps permet d'estimer l'évolution de la valeur du temps sur toute la période étudiée.

Parts relatives des différents modes de transport

La simulation de la matrice production-attraction pour chaque année de la période de projection nécessite l'introduction dans le modèle des coûts généralisés pondérés. Pour ce faire, nous utilisons les parts relatives des différents modes de transport de la période précédente, étant donné que cette répartition pour la période même ne peut être déterminée qu'après avoir déterminé le nombre total de déplacements entre chaque paire de zones.

3.4.3. Simulation des matrices production-attraction

Les coûts généralisés pondérés sont combinés au modèle de distribution des déplacements. Cela nous donne une première estimation des déplacements domicile-travail par paire de zones, ainsi que le nombre total de tels déplacements « produits » et « attirés » dans chaque zone NUTS3. Les totaux par zone sont ensuite comparés aux totaux projetés par le GRT. En cas d'écart entre les

⁵⁰ Ministerie van Verkeer en Waterstaat (AVV) et Centraal Planbureau (2004)

deux, la procédure Furness⁵¹ est appliquée afin d'ajuster la valeur de chaque cellule dans la matrice, de manière à obtenir les totaux projetés pour les zones. Le résultat de cet exercice donne le nombre total de pkm par mode de transport pour les déplacements domicile-travail.

L'exercice est effectué pour les trois scénarios (scénario A0, A1 et B) proposés par le GRT. Les résultats sont présentés du Tableau 17 jusqu'au Tableau 19. Ces tableaux indiquent notamment le nombre total de déplacements domicile-travail, le nombre de pkm par mode de transport, les parts relatives des modes de transport par pkm dans les déplacements journaliers et le nombre moyen de km par trajet.

Dans le scénario A0 (Tableau 17), le nombre total de pkm parcourus dans le cadre de déplacements domicile-travail augmente de 18% entre 2000 et 2030 (de 35,8 à 42,2 milliards de pkm). Cela est dû à l'augmentation à la fois du nombre de déplacements et du kilométrage moyen par déplacement. Le nombre moyen de km par déplacement est donné par le modèle de distribution. En ce qui concerne le choix modal, le pourcentage d'automobilistes (conducteurs) augmente, passant de 69% à 71,4%. Cette progression se fait au détriment des autres modes, qui cèdent donc tous du terrain en termes relatifs. Toutefois, le nombre total de pkm parcourus par chaque mode de transport augmente. Le pourcentage de la voiture (conducteurs et passagers) passe de 81,5% à 83,1%.

Tableau 17. Transport domicile-travail 2000-2030 – Scénario A0

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Nombre de déplacements domicile-travail (en milliards par an)							
Total	1,09	1,11	1,14	1,15	1,17	1,18	1,19
Voyageurs-kilomètres (en milliards par an)							
Conducteur	24,69	25,89	26,92	27,67	28,49	29,22	30,08
Passager	4,48	4,56	4,63	4,69	4,78	4,86	4,92
<i>Total voiture</i>	<i>29,17</i>	<i>30,45</i>	<i>31,55</i>	<i>32,36</i>	<i>33,27</i>	<i>34,07</i>	<i>35,01</i>
Bus/tram/méto	1,20	1,19	1,20	1,21	1,24	1,27	1,29
Rail	4,68	4,77	4,85	4,90	4,97	4,99	5,04
Modes lents	0,76	0,78	0,79	0,80	0,80	0,80	0,81
Total	35,80	37,18	38,39	39,27	40,29	41,14	42,15
Pourcentages par mode de transport							
Conducteur	69,0%	69,6%	70,1%	70,4%	70,7%	71,0%	71,4%
Passager	12,5%	12,3%	12,1%	12,0%	11,9%	11,8%	11,7%
<i>Total voiture</i>	<i>81,5%</i>	<i>81,9%</i>	<i>82,2%</i>	<i>82,4%</i>	<i>82,6%</i>	<i>82,8%</i>	<i>83,1%</i>
Bus/tram/méto	3,3%	3,2%	3,1%	3,1%	3,1%	3,1%	3,1%
Rail	13,1%	12,8%	12,6%	12,5%	12,3%	12,1%	12,0%
Modes lents	2,1%	2,1%	2,1%	2,0%	2,0%	2,0%	1,9%
Kilométrage moyen par déplacement (km)							
Conducteur	36,1	36,8	37,2	37,5	38,0	38,3	38,9
Passager	33,2	33,5	33,9	34,1	34,5	34,8	35,2
Bus/tram/méto	19,9	19,9	20,0	20,1	20,2	20,3	20,4
Rail	104,7	105,0	105,0	104,8	105,3	105,4	106,0
Modes lents	4,6	4,6	4,6	4,7	4,7	4,7	4,8
Moyenne	32,9	33,4	33,8	34,0	34,5	34,8	35,3

Dans le scénario A1 (Tableau 18), le nombre de déplacements servant de point de départ est légèrement supérieur à celui du scénario A0. Les raisons de cette différence sont expliquées

⁵¹ Cf. Ortúzar and Willumsen (2001), chapitre 5.

dans la section 2.2. Par ailleurs, le GRT prévoit également une plus forte augmentation du pourcentage de conducteurs dans le scénario dynamique que dans le scénario statique. De même, le nombre total de pkm parcourus dans le cadre des navettes domicile-travail augmente un peu plus que dans le scénario statique (19,2% contre 18,0%). Cela est dû à une progression plus forte à la fois du nombre de déplacements et du kilométrage moyen par déplacement. En ce qui concerne les parts relatives des divers modes de transport, le pourcentage des chauffeurs augmente, passant de 69% en 2000 à 73,6% en 2030, au détriment de tous les autres modes, dont les pourcentages respectifs reculent. Avec 84,0 %, la part occupée par la voiture individuelle en 2030 est plus élevée que dans le scénario A0.

Tableau 18. Transport domicile-travail 2000-2030 – Scénario A1

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Nombre de déplacements domicile-travail (en milliards par an)							
Total	1,09	1,11	1,14	1,16	1,17	1,19	1,20
Nombre de voyageurs-kilomètres (en milliards par an)							
Conducteur	24,69	26,15	27,42	28,37	29,39	30,32	31,38
Passager	4,48	4,45	4,43	4,42	4,43	4,43	4,44
<i>Total voiture</i>	<i>29,17</i>	<i>30,60</i>	<i>31,86</i>	<i>32,79</i>	<i>33,83</i>	<i>34,75</i>	<i>35,82</i>
Bus/tram/métro	1,20	1,12	1,08	1,05	1,03	1,02	1,00
Rail	4,68	4,76	4,84	4,89	4,95	4,96	5,00
Modes lents	0,76	0,78	0,79	0,79	0,79	0,79	0,80
Total	35,80	37,27	38,56	39,47	40,60	41,53	42,62
Pourcentages par mode de transport							
Conducteur	69,0%	70,1%	71,1%	71,8%	72,4%	73,0%	73,6%
Passager	12,5%	12,0%	11,5%	11,2%	10,9%	10,7%	10,4%
<i>Total voiture</i>	<i>81,5%</i>	<i>82,1%</i>	<i>82,6%</i>	<i>83,0%</i>	<i>83,3%</i>	<i>83,7%</i>	<i>84,0%</i>
Bus/tram/métro	3,3%	3,0%	2,8%	2,7%	2,5%	2,5%	2,4%
Rail	13,1%	12,8%	12,5%	12,4%	12,2%	11,9%	11,7%
Modes lents	2,1%	2,1%	2,0%	2,0%	2,0%	1,9%	1,9%
Kilométrage moyen par déplacement (km)							
Conducteur	36,1	36,7	37,1	37,3	37,8	38,1	38,6
Passager	33,2	33,5	33,9	34,2	34,6	34,9	35,3
Bus/tram/métro	19,9	19,9	20,0	20,0	20,1	20,1	20,2
Rail	104,7	104,9	104,8	104,6	105,0	105,0	105,6
Modes lents	4,6	4,6	4,7	4,7	4,7	4,7	4,8
Moyenne	32,9	33,4	33,8	34,1	34,6	34,9	35,4

Finalement, le Tableau 19 présente les résultats pour le scénario B, qui part de l'hypothèse d'un affaiblissement de l'émigration périurbaine au départ d'arrondissements urbains. Dans ce scénario le nombre de déplacements et le choix modal sont comparables au scénario A0. La différence la plus grande avec ce dernier scénario est que le kilométrage moyen par déplacement est un peu moins élevé. Ceci a comme résultat que le nombre total de pkm augmente moins vite que dans le scénario A0. Néanmoins la différence entre les deux scénarios n'est pas très grande (moins de 1% en 2030).

Tableau 19. Transports des navetteurs 2000-2030 – Scénario B

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Nombre de déplacements domicile-travail (en milliards par an)							
Total	1,09	1,11	1,14	1,15	1,17	1,18	1,19
Nombre de voyageurs-kilomètres (en milliards par an)							
Conducteur	24,69	25,84	26,77	27,45	28,24	28,93	29,78
Passager	4,48	4,55	4,60	4,66	4,74	4,81	4,87
<i>Total voiture</i>	<i>29,17</i>	<i>30,38</i>	<i>31,37</i>	<i>32,11</i>	<i>32,98</i>	<i>33,73</i>	<i>34,65</i>
Bus/tram/méto	1,20	1,19	1,22	1,24	1,28	1,32	1,35
Rail	4,68	4,77	4,84	4,88	4,94	4,95	5,00
Modes lents	0,76	0,78	0,79	0,79	0,80	0,80	0,80
Total	35,80	37,12	38,21	39,02	39,99	40,80	41,79
Pourcentages par mode de transport							
Conducteur	69,0%	69,6%	70,1%	70,4%	70,6%	70,9%	71,3%
Passager	12,5%	12,3%	12,0%	11,9%	11,9%	11,8%	11,7%
<i>Total voiture</i>	<i>81,5%</i>	<i>81,9%</i>	<i>82,1%</i>	<i>82,3%</i>	<i>82,5%</i>	<i>82,7%</i>	<i>82,9%</i>
Bus/tram/méto	3,3%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%
Rail	13,1%	12,9%	12,7%	12,5%	12,3%	12,1%	12,0%
Modes lents	2,1%	2,1%	2,1%	2,0%	2,0%	2,0%	1,9%
Kilométrage moyen par déplacement (km)							
Conducteur	36,1	36,7	37,0	37,3	37,7	38,1	38,6
Passager	33,2	33,5	33,7	34,0	34,3	34,6	35,0
Bus/tram/méto	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	20,0	20,1
Rail	104,7	104,8	104,6	104,4	104,9	104,9	105,6
Modes lents	4,6	4,6	4,6	4,7	4,7	4,7	4,8
Moyenne	32,9	33,3	33,6	33,8	34,3	34,6	35,0

Dans la section suivante, les projections relatives au nombre total de pkm parcourus dans le cadre de déplacements entre le domicile et le lieu de travail seront utilisées afin de calculer l'évolution attendue des émissions produites par le transport des navetteurs.

4. Le sous-modèle environnemental

Le sous-modèle environnemental a pour objectif de calculer les émissions générées par le transport de personnes. Les émissions dépendent de l'évolution de la demande de transport, du choix modal et de la composition et des caractéristiques du matériel de transport. Pour les trajets domicile-travail les caractéristiques des déplacements sont générées par le sous-modèle de distribution; pour les autres motifs de transport l'output du module « profils de mobilité » est utilisé.

4.1. Introduction

Les résultats du module « profils de mobilité » montrent une augmentation du nombre de trajets effectués en voiture, sous l'effet d'une augmentation du nombre de titulaires d'un permis de conduire. Le ralentissement de l'exode rural n'aurait en revanche pas d'impact sur le nombre de trajets, mais bien sur le lieu de départ des déplacements domicile-travail.

À l'aide du sous-modèle de distribution, nous avons calculé le nombre de voyageurs-kilomètres pour les déplacements domicile-travail. Il ressort de ces calculs que la distance moyenne des déplacements domicile-travail augmente au cours de la période 2000-2030. Toutefois, l'évolution de cette distance n'est que faiblement influencée par une hausse du taux de possession du permis de conduire ou par un ralentissement de l'exode rural.

L'impact des transports sur l'environnement peut être mesuré à l'aide de toute une série d'indicateurs, par exemple le nombre de kilomètres parcourus, le nombre d'accidents sur le réseau routier, le bruit ou les émissions nocives produites par les transports. Dans le cadre du projet MOBIDIC, nous nous limitons aux émissions de substances polluantes produites par les transports.

Le but de ce chapitre est de calculer les émissions liées aux transports, et ce, dans un certain nombre de scénarios.

Ce chapitre compte sept sections. Après cette introduction, nous présenterons un aperçu des principales études qui servent de point de départ au calcul des émissions liées aux transports. La section suivante précisera pour quels scénarios, quels polluants et quels carburants les émissions ont été calculées dans le cadre de cette étude. Étant donné que le sous-modèle de distribution calcule le nombre de voyageurs-kilomètres uniquement pour les déplacements domicile-travail, nous calculerons, dans une autre section, la demande de transport liée à d'autres motifs que le travail. Ensuite, nous décrirons la méthode choisie pour calculer les émissions, puis nous commenterons quelques-uns des résultats obtenus, et enfin, nous clôturerons ce chapitre en soulignant les principales conclusions.

4.2. Aperçu des études existantes

CORINAIR (*Core Inventory of Air Emission*) fut la première étude européenne visant à développer une méthodologie pour l'élaboration d'inventaires d'émissions. La méthodologie proposée se basait sur des « facteurs d'émission » permettant de calculer les émissions produites par le transport routier. Un premier résultat de cette étude fut un inventaire des émissions pour l'année de référence 1985. Un deuxième produit de cette étude fut un programme informatique baptisé COPERT85 (*COmputer Program to calculate Emissions from Road Transport*). Les facteurs d'émission de la première étude ont été revus pour l'inventaire des émissions de 1990. Le programme de calcul des émissions générées par les transports routiers fut également mis à

jour à cette occasion (COPERT90). Plus tard, ce programme fut encore adapté à deux reprises, à savoir en 1997 (COPERT II) et en 2000 (COPERT III).

Le programme actuel, COPERT III⁵², est largement inspiré de deux initiatives européennes : l'action COST 319 autour de l'évaluation des émissions des transports, d'une part, et le projet MEET (*Methodologies for Estimating air pollutant Emissions from Transport*)⁵³, d'autre part. Ce sont des chercheurs qui avaient travaillé sur le projet CORINAIR qui ont pris la direction de l'action COST 319. Le projet avait pour but de dresser un aperçu des connaissances disponibles sur les émissions causées par les transports. C'était aussi la première fois qu'une étude entendait considérer l'ensemble des quatre grands modes de transport (route, rail, air et eau). De son côté, le projet MEET fournit aux utilisateurs du système un ensemble de données et de méthodes leur permettant de calculer les émissions et la consommation énergétique de ces quatre grands modes de transport.

Pour les transports routiers, COPERTIII et MEET donnent des facteurs d'émission dépendant de la vitesse pour différentes catégories de véhicules, de motorisations, de normes d'émission et de taille (en fonction de la cylindrée ou du poids maximum autorisé). COPERTIII calcule notamment les émissions de CO, CO₂, N₂O, NO_x, PM (particules), SO₂ et COV pour les trois carburants habituels que sont l'essence, le diesel (gasoil routier) et le LPG.

Le modèle TEMAT du VITO est un proche parent de COPERTIII et de MEET. Dans le cadre du projet SUSATRANS⁵⁴, VITO a élargi le modèle TEMAT existant, qui date de 2000. Ce modèle se distingue des autres, notamment de COPERTIII, par le fait (i) qu'il inclut également dans le parc des véhicules les petites voitures diesel et les motorisations alternatives comme les véhicules hybrides essence et diesel et les véhicules au gaz naturel (CNG) ; (ii) qu'il calcule également les émissions de particules des véhicules ne roulant pas au diesel ; et (iii) que les fonctions relatives aux émissions de NO_x et de particules y ont été modifiées. L'objectif du projet SUSATRANS est d'évaluer la durabilité des différents modes de transport et types de motorisation sur la période 1990-2020. Cette évaluation ne se limite pas au transport routier, mais concerne également la navigation intérieure et le rail.

Le modèle TREMOVE a été développé par Transport & Mobility Leuven (TML) pour la Commission européenne. Le modèle projette, sur la base de mesures prises au niveau politique, l'évolution de la structure du parc automobile, de la consommation de carburant et des émissions de 21 pays sur la période 1995-2030. Ce modèle intègre également les effets de ces mesures sur le bien-être. Début 2006, TML a clôturé un nouvel exercice concernant la Belgique à l'aide du modèle TREMOVE⁵⁵.

La Commission européenne a également financé le modèle PRIMES. PRIMES est un modèle énergétique d'équilibre partiel qui projette l'évolution de l'offre, de la demande et des prix énergétiques et des émissions polluantes produites par les différentes sources d'énergie, sur la base de l'évolution des prix internationaux de l'énergie et de variables macroéconomiques telles que le PIB, le revenu disponible, l'inflation, les taux d'intérêt, etc. En matière de transports, ce modèle projette l'introduction de biocarburants au cours de la période 2000-2030 en fonction des mesures adoptées au niveau politique, et, en matière de production d'électricité, il calcule les émissions des principaux polluants sur la même période⁵⁶.

⁵² EEA (2000), COPERT III, Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport, Methodology and emission factors (Version 2.1).

⁵³ MEET (1999), Methodology for calculating transport emissions and energy consumption, projet financé par la Commission européenne, DG VII.

⁵⁴ De Vlieger, I., Pelkmans, L., Verbeiren, S., Cornelis, E., Int Panis, L., Proost, S. et Knockaert, J. (2005), Sustainability assessment of technologies and modes in the transport sector in Belgium (SUSATRANS), rapport PADDII.

⁵⁵ Logghe, S., B. Van Herbruggen and B. Van Zeebroeck (2006), Emissions of Road Traffic in Belgium, report under the authority of FEBIAC and FPS Mobility and Transport, Transport & Mobility Leuven (TML).

⁵⁶ Commission européenne, DG TREN (2005), Perspectives Energétiques, baseline, novembre 2005.

4.3. Champ d'application

4.3.1. Scénarios

Grâce au sous-modèle environnemental, nous allons calculer les émissions liées à divers scénarios. Les scénarios envisagés sont les suivants :

Tableau 20. Scénarios pour lesquels l'évolution des émissions est calculée

A0	Combinaison scénario démographique de base (SB) et scénario statique (SS) pour les profils de mobilité
A1	Combinaison scénario démographique de base (SB) et scénario dynamique (SD) pour les profils de mobilité
B	Combinaison scénario démographique alternatif (SA1) et scénario statique (SS) pour les profils de mobilité

Dans cette section, le scénario A1 et le scénario B sont comparés systématiquement au scénario A0. En comparant entre eux les scénarios dynamique et statique, on peut mesurer l'impact d'un nombre accru de titulaires d'un permis de conduire sur le nombre de trajets, ainsi que les émissions qui y sont liées. La comparaison entre les scénarios statiques B et A0 nous donne une idée de l'influence d'un ralentissement de l'exode rural.

4.3.2. Modes de transport et types de motorisation

Pour l'évaluation des émissions produites par les transports, nous faisons une distinction entre 11 catégories de « véhicules ». Ces catégories sont reprises dans le Tableau 21 ci-dessous.

Tableau 21. Modes de transport et types de motorisation pris en compte dans le projet MOBIDIC

Voitures particulières	Bus, tram et métro	Chemins de fer
Essence	Autobus – diesel	Electricité
Hybride-essence	Tram – électricité	Diesel
Diesel	Métro – électricité	
Hybride-diesel		
LPG		
CNG		

4.3.3. Polluants

Dans le cadre du projet MOBIDIC, nous avons évalué les émissions *directes* des substances polluantes suivantes :

Tableau 22. Émissions directes de substances polluantes prises en compte dans le cadre du projet MOBIDIC

CO ₂	Dioxyde de carbone
NO _x	Oxydes d'azote
SO ₂	Dioxyde de soufre
CO	Monoxyde de carbone
N ₂ O	Protoxyde d'azote (ou gaz hilarant)
PM	Particules
COV	Composés organiques volatils

En ce qui concerne les émissions *indirectes* liées aux transports, nous nous limitons aux émissions de CO₂, NO_x et SO₂ générées par la production d'électricité utilisée par différents types de véhicules, à savoir le tram, le métro et les locomotives et automotrices électriques.

4.4. La demande de transport

4.4.1. Généralités

Dans cette section, nous calculons, dans les différents scénarios envisagés, la demande de transport totale exprimée en voyageurs-kilomètres. Le mode de calcul dépend du motif de déplacement.

Le GRT a fourni au Bureau fédéral du Plan :

- le nombre de déplacements domicile-travail par arrondissement ;
- le nombre total de trajets ;
- la distance moyenne des trajets effectués pour d'autres motifs que pour le travail.

Pour les *déplacements domicile-travail*, la demande de transport a déjà été calculée (cf. 3.4.). Pour calculer les trajets effectués pour *d'autres motifs*, nous prenons la différence entre le nombre total de déplacements et deux fois le nombre de déplacements domicile-travail tel qu'indiqué par le GRT. En effet, dans l'optique de MOBEL, un déplacement domicile-travail constitue seulement un trajet aller, tandis que le trajet du retour est repris sous le nom de « retour au domicile ».

4.4.2. Trajets

4.4.2.1. Déplacements domicile-travail

Si l'on compare les scénarios A0 et A1 (cf. Tableau 17 et Tableau 18), on constate qu'un taux plus élevé de possession du permis de conduire n'a qu'un impact limité sur le nombre de déplacements domicile-travail. En effet, dans le scénario A1, le nombre de déplacements domicile-travail n'est que 0,75 % plus élevé que dans le scénario A0. On observe toutefois une tendance vers plus de déplacements domicile-travail en voiture dans le scénario A1 que dans le scénario A0.

Dans le scénario B, le nombre de déplacements domicile-travail ne change pas, contrairement aux lieux de départ de ces déplacements. Le Tableau 19 montre qu'un ralentissement de l'exode rural a un impact limité sur la répartition modale des déplacements domicile-travail.

4.4.2.2. Déplacements effectués pour d'autres motifs que le travail

Les Tableau 23 et Tableau 24 reflètent l'évolution du nombre de déplacements effectués pour d'autres motifs que pour le travail. L'évolution correspondant au scénario B n'est pas reprise ici : elle est la même que dans le scénario A0.

Tableau 23. Évolution du nombre annuel de déplacements pour d'autres motifs que le travail dans le scénario A0 (en millions)

Mode de transport	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	30//00	Part en 2030
Bus-Tram-Métro (BTM)	145	121	115	108	102	98	96	1,36%	2%
Voiture particulière – conducteur	2661	2771	2840	2895	2934	2967	2999	0,40%	23%
Voiture particulière – passager	1347	1395	1395	1380	1370	1368	1371	0,06%	51%
<i>Voiture particulière – total</i>	<i>4008</i>	<i>4166</i>	<i>4235</i>	<i>4275</i>	<i>4304</i>	<i>4335</i>	<i>4370</i>	<i>0,29%</i>	<i>74%</i>
Train	38	41	42	44	44	43	43	0,40%	1%
Modes lents	1410	1404	1410	1409	1408	1407	1409	0,00%	24%
Total	5602	5732	5802	5836	5859	5884	5918	0,18%	100%

Source : GRT, calculs BFP

Dans les trois scénarios, le nombre total de trajets effectués pour d'autres motifs que le travail augmenterait plus lentement que le nombre total de déplacements domicile-travail. Par rapport à ces derniers, on observe dans les trois scénarios envisagés une part accrue des modes lents et une proportion moindre de trajets effectués en voiture au cours de la période de projection 2000-2030. Pour les trajets effectués pour d'autres motifs que le travail, la voiture est le principal mode de transport en nombre de trajets, avec une part de 74 % dans les trois scénarios. Pour les déplacements domicile-travail, cette part atteint de 76 à 78 % selon le scénario envisagé.

Tableau 24. Évolution du nombre annuel de déplacements effectués pour d'autres motifs que le travail dans le scénario A1 (en millions)

Mode de transport	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	30//00	Part en 2030
Bus-Tram-Métro (BTM)	145	132	134	135	137	140	144	0,03%	2%
Voiture particulière – conducteur	2661	2806	2905	2986	3050	3107	3161	0,57%	22%
Voiture particulière – passager	1347	1387	1380	1359	1344	1337	1337	0,02%	52%
<i>Voiture particulière – total</i>	<i>4008</i>	<i>4193</i>	<i>4285</i>	<i>4345</i>	<i>4395</i>	<i>4445</i>	<i>4498</i>	<i>0,38%</i>	<i>74%</i>
Train	38	40	40	41	41	40	39	0,06%	1%
Modes lents	1410	1408	1418	1421	1423	1425	1431	0,05%	23%
Total	5602	5773	5878	5942	5995	6049	6111	0,29%	100%

Source : GRT, calculs BFP

Pour les motifs autres que le travail, le nombre total de trajets est plus élevé dans le scénario A1 que dans le scénario A0. Sur l'ensemble de la période 2000-2030, le nombre total de déplacements augmente en moyenne de 0,29 % par an dans le scénario A1, contre 0,18 % dans le scénario A0. En 2030, le nombre de trajets effectués pour d'autres motifs que le travail est 3,3 % plus élevé dans le scénario A1 que dans le scénario A0.

Par ailleurs, le taux accru de possession du permis de conduire se traduit par une augmentation de l'utilisation de la voiture : en 2030, dans le scénario A1, le nombre de trajets *en voiture* est 2,9 % plus élevé que dans le scénario A0. D'autre part, ce taux accru de possession du permis fait baisser le seuil psychologique qu'il faut franchir pour s'asseoir au volant d'une voiture. D'autre part, alors que le nombre de trajets en bus, tram ou métro (*BTM*) diminue chaque année de 1,36 % en moyenne dans le scénario A0 au cours de la période 2000-2030, il se stabilise en revanche dans le scénario A1. Résultat : selon ce scénario, en 2030, le nombre de trajets

effectués en BTM est 49,5 % plus élevé que dans le scénario A0. Enfin, le taux accru de possession du permis de conduire entraîne une stabilisation du nombre de trajets effectués en *train*, tandis que dans le scénario A0, le train connaît une croissance annuelle moyenne de 0,40 %.

Le fait que le nombre total de trajets et que le nombre de trajets en BTM effectués pour d'autres motifs que le travail soient tous les deux plus élevés dans le scénario A1 que dans le scénario A0 semble contraire à l'intuition. On peut toutefois expliquer le nombre plus élevé de trajets par une plus grande mobilité des personnes titulaires d'un permis de conduire. Sur une journée moyenne, les personnes titulaires d'un permis de conduire se déplacent 3,3 fois, contre 2,3 fois pour celles qui n'ont pas de permis⁵⁷.

Le nombre plus élevé de trajets en BTM est dû à deux facteurs. Le nombre de trajets effectués en BTM pour d'autres motifs que le travail est le résultat d'extrapolations réalisées sur la base de l'enquête MOBEL⁵⁸. Comme l'indique le GRT à la section 2.2.8, ces extrapolations donnent des chiffres très approximatifs pour certaines catégories socioéconomiques. De plus, pour certaines de ces catégories, le nombre de trajets effectués en BTM n'est pas significatif. Il se pourrait dès lors que, par un manque de signification statistique, l'augmentation relative de trajets en BTM soit en réalité supérieure à la croissance relative des trajets en voiture. Vu la part limitée des trajets en BTM dans le nombre total de trajets et dans les émissions tant directes qu'indirectes, nous avons décidé de ne pas approfondir cette question.

4.4.3. Distance moyenne

Les résultats de la distribution des déplacements indiquent que la distance moyenne d'un *déplacement domicile-travail* (NB : les chiffres repris aux Tableau 17, Tableau 18 et Tableau 19 sont basés sur les trajets aller *et* retour) devrait s'allonger au cours de la période de projection 2000-2030. Dans les trois scénarios, c'est pour la voiture que l'augmentation de cette distance moyenne serait la plus sensible. Sous l'influence d'un taux de possession plus élevé du permis de conduire, cette augmentation est la plus prononcée dans le scénario A1, avec 7,7 % sur la période 2000-2030, contre 7,4 % dans le scénario A0. Dans le scénario B, le ralentissement de l'exode rural a pour effet de modérer cette croissance (+6,4 %).

La distance moyenne des trajets effectués *pour d'autres motifs que le travail*, telle que calculée par le GRT sur la base de l'enquête MOBEL, est supposée constante pendant toute la période de projection 2000-2030.

Tableau 25. Distance moyenne des déplacements effectués pour d'autres motifs que le travail (en km)

Mode de transport	Distance moyenne
BTM	15,21
Voiture particulière – conducteur	13,04
Voiture particulière – passager	12,78
Train	67,44
Modes lents	2,36

Source : GRT

4.4.4. Voyageurs-kilomètres

Sur la base du nombre de trajets par motif (de déplacement) et de la distance moyenne par motif, il est possible de calculer le nombre de voyageurs-kilomètres. Dans le scénario A0, le

⁵⁷ Hubert, J.P., Toint, P.(2002) , La mobilité quotidienne des Belges, Collection Mobilité et Transports, p. 98.

⁵⁸ Cornelis, E., MOBEL, <http://www.mobel.be>, décembre 2000.

nombre total de voyageurs-kilomètres sur la période 2000-2030 augmente en moyenne de 0,35 % par an. La progression la plus nette concerne la *voiture*, avec une croissance annuelle moyenne de 0,41 %. La part de l'automobile dans le nombre total de voyageurs-kilomètres en 2030 s'élève à 86 %. Les transports par *train* augmentent aussi en termes de voyageurs-kilomètres, avec une progression moyenne de 0,30 % par an. En revanche, la part des modes de transports *BTM* recule, atteignant 3 % en 2030.

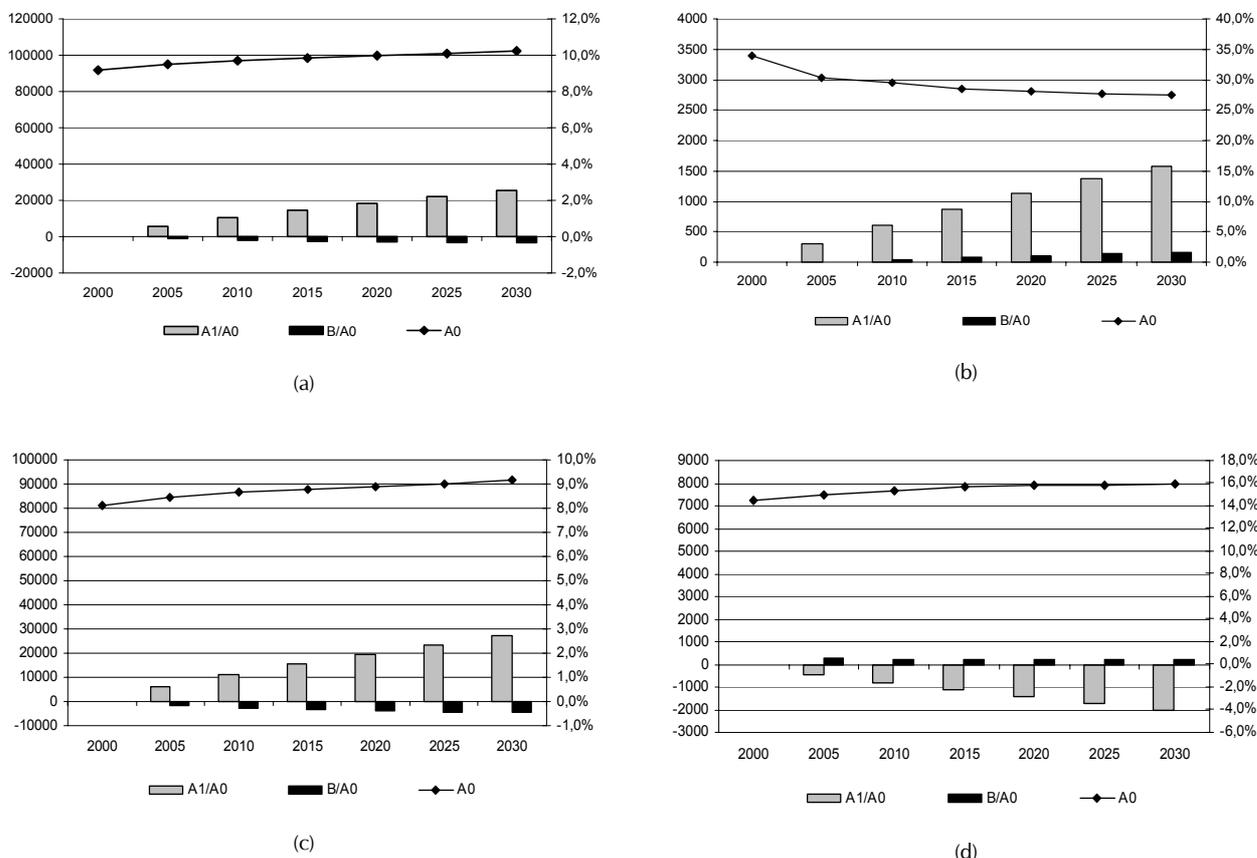
Tableau 26. Évolution du nombre de voyageurs-kilomètres dans le scénario A0 (en millions)

Mode de transport	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	30//00	Part en 2030
BTM	3399	3034	2945	2858	2800	2767	2754	-0,70%	3%
Voiture particulière conducteur	59383	62020	63946	65408	66744	67899	69184	0,51%	65%
Voiture particulière passager	21697	22388	22457	22329	22293	22335	22442	0,11%	21%
<i>Voiture particulière total</i>	<i>81081</i>	<i>84408</i>	<i>86403</i>	<i>87736</i>	<i>89037</i>	<i>90234</i>	<i>91627</i>	<i>0,41%</i>	<i>86%</i>
Train	7253	7498	7690	7835	7939	7927	7942	0,30%	7%
Modes lents	4095	4104	4130	4135	4135	4134	4144	0,04%	4%
Total	95827	99045	101168	102564	103911	105062	106467	0,35%	100%

Source : GRT, calculs BFP

La Figure 36 présente une comparaison entre les résultats obtenus pour les scénarios A1 et B et le scénario A0.

Figure 36. Évolution de la demande de transport en millions de voyageurs-kilomètres pour le transport motorisé (a), les BTM (b), la voiture (c) et le train (d) dans le scénario A0 (échelle de gauche), et évolution des écarts relatifs entre les scénarios A1 et A0 (A1/A0) et les scénarios B et A0 (B/A0) (échelle de droite).



C'est entre les scénarios A0 et A1 que les différences sont les plus importantes. Avec 0,43 % de progression annuelle moyenne, le nombre de voyageurs-kilomètres augmente plus rapidement dans le scénario A1 que dans le scénario A0. La croissance de la demande de transport *en voiture* s'explique par l'augmentation tant des déplacements domicile-travail que par les trajets effectués pour d'autres motifs. Pour la voiture, l'écart entre les scénarios A1 et A0 atteint 2,7 % en 2030. En termes relatifs, c'est pour les BTM que l'écart entre les deux scénarios est le plus marqué. À la fin de la projection, le nombre de voyageurs-kilomètres pour les transports en bus, tram et métro dans le scénario A1 est 15,8 % plus élevé que dans le scénario A0. L'augmentation du nombre de trajets effectués pour d'autres motifs par rapport au scénario A0 est, il est vrai, de plus grande ampleur que la diminution du nombre de déplacements domicile-travail. En ce qui concerne le *train*, le nombre de déplacements domicile-travail et le nombre de trajets pour d'autres motifs que le travail sont tous les deux plus bas dans le scénario A1 que dans le scénario A0, si bien qu'en 2030, la demande de transport par train est 4,0 % plus basse par rapport au scénario A0.

L'écart entre les scénarios A0 et B est moindre. En 2030, le nombre total de voyageurs-kilomètres dans le scénario B est 0,3 % plus bas que dans le scénario A0. De plus, le ralentissement de l'exode rural entraîne une plus faible croissance du transport par voiture et une croissance plus élevée des transports en BTM et en train. En 2030, le nombre de voyageurs-kilomètres pour la *voiture* est 0,5 % plus bas dans le scénario B que dans le scénario A0. Dans

le scénario B, on compte respectivement 1,7 % et 0,4 % de plus de voyageurs-kilomètres pour les *BTM* et le *train* par rapport au scénario A0.

4.5. Méthode de calcul des émissions

4.5.1. Généralités

4.5.1.1. Émissions directes

Les émissions directes pour une année spécifique sont données par le produit d'une variable d'activité et d'un facteur d'émission:

$$E_{ijk} = A_{jk} \times e_{ijk}$$

Où :

- E_{ijk} correspond aux émissions du polluant i par le moyen de transport j roulant au carburant k ;
- A_{jk} est la variable d'activité pour le moyen de transport j et le carburant k . Pour les voitures et les modes *BTM*, la variable d'activité est le véhicule-kilomètre. Pour le rail, la variable est le nombre de tonnes-kilomètres brutes remorquées⁵⁹;
- e_{ijk} est le facteur d'émission du polluant i par le moyen de transport j roulant au carburant k .

4.5.1.2. Émissions indirectes

Les émissions indirectes des véhicules électriques sont données par le produit des trois facteurs suivants:

$$E_{ij} = A_j \times ce_j \times e_i$$

Où:

- E_{ij} correspond aux émissions « indirectes » du polluant i par le moyen de transport j ;
- A_j est la variable d'activité du moyen de transport j . Pour le tram et le métro, la variable d'activité est le nombre de véhicules-kilomètres, et, pour le rail, c'est le nombre de tonnes-kilomètres brutes remorquées;
- ce_j est la consommation électrique spécifique du véhicule j ;
- e_i est le facteur d'émission « indirect » pour le polluant i .

4.5.2. Variables d'activité

Cette section a pour objet de ventiler les voyageurs-kilomètres par mode de transport envisagé (voir point 4.4.4) selon la variable d'activité correspondante.

En ce qui concerne le mode *voiture*, il est nécessaire de connaître le taux d'occupation pour calculer le nombre de véhicules-kilomètres. Le taux d'occupation constant pris pour référence sur la période 2000-2030 est de 1,4 personne.

⁵⁹ Une tonne-kilomètre brute correspond au déplacement sur un kilomètre d'une tonne de véhicule ferroviaire et de son contenu.

Pour les modes *BTM*, le taux d'occupation est évalué sur la base des résultats de l'enquête MOBEL et des statistiques des différentes sociétés de transport public. Pour De Lijn⁶⁰ et le TEC⁶¹, le nombre de voyageurs-kilomètres est calculé pour 2000 à partir du nombre total de voyageurs transportés et de la distance moyenne d'un trajet en bus et en tram, respectivement en Flandre et en Wallonie. Cette donnée est tirée de l'enquête MOBEL. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau 27. Évaluation du nombre de voyageurs-kilomètres pour De Lijn et le TEC - 2000

	Nombre de voyageurs (1000)	Distance moyenne du déplacement - km	voyageurs-kilomètres (en millions)
De Lijn	240400	12,66	3044,1
TEC	144400	13,45	1941,5

Sources : De Lijn (2000), SRWT (2000), GRT, calculs BFP.

Ces résultats sont combinés aux données de De Lijn et du TEC relatives au nombre de véhicules-kilomètres. Dans son rapport d'activité pour l'année 2000, la STIB⁶² mentionne des chiffres pour le nombre de voyageurs-kilomètres et le nombre de véhicules-kilomètres parcourus.

Tableau 28. Évaluation du taux d'occupation pour les modes BTM - 2000

	Nombre de voyageurs-kilomètres (en millions)	Nombre de véhicules-kilomètres (en millions)	Taux d'occupation
STIB	1196,3	36,1	33,1
De Lijn	3044,1	130,6	23,3
TEC	1941,5	97,6	19,9
Total	6182,0	264,3	23,4

Sources : STIB (2000), De Lijn (2000), SRWT (2000), TEC Charleroi (2000), GRT, calculs BFP.

Pour l'ensemble des trois sociétés de transport, cet exercice donne un taux d'occupation moyen de 23,4. Afin de simuler le nombre de véhicules-kilomètres parcourus par les modes BTM sur la période 2000-2030, nous nous basons sur un taux d'occupation moyen constant.

Pour ce qui est du rail, la variable d'activité est égale au rapport entre le nombre de voyageurs-kilomètres et le nombre de tonnes-kilomètres brutes remorquées. Ces données sont tirées de l'Annuaire statistique 2000 de la SNCB⁶³.

Tableau 29. Évaluation du nombre de voyageurs par tonne-kilomètre brute remorquée - 2000

	Nombre de véhicules-kilomètres (en millions)	Nombre de tonnes-kilomètres brutes remorquées (en millions)	Nombre de voyageurs par tonne brute remorquée
SNCB	7755	22860	0,34

Source : SNCB (2000), calculs BFP.

En 2000, le nombre de voyageurs par tonne brute remorquée était de 0,34. Autrement dit, la SNCB devait déplacer un peu moins de trois tonnes pour transporter un voyageur. Nous partons de l'hypothèse que ce rapport reste constant sur la période 2000-2030.

⁶⁰ De Lijn (2000), Jaarverslag 2000, Maires.

⁶¹ SRWT (2000), Rapport annuel 2000, Namur.

⁶² STIB (2000), Rapport d'activité 2000, Bruxelles.

⁶³ SNCB (2000), Annuaire statistique 2000, Bruxelles.

4.5.3. Ventilation des variables d'activité par type de carburant

4.5.3.1. Voitures particulières

La part a_k du type de carburant k dans le nombre de véhicules-kilomètres par voiture particulière est calculée comme suit:

$$a_k = \frac{n_k \times d_k}{\sum_k n_k \times d_k}$$

Où :

- n_k représente la part des véhicules roulant au carburant k dans le parc de voitures particulières;
- d_k correspond au nombre de kilomètres parcourus chaque année par les véhicules roulant au carburant k .

L'exercice réalisé avec le modèle TREMOVE pour l'étude 'Emissions of Road Traffic in Belgium'⁶⁴ donne l'évolution de la composition du parc de voitures particulières pour la période 2000-2030 (cf. Tableau 13). Il ressort de ce tableau que les voitures fonctionnant au CNG et les voitures hybrides à essence constituent la première alternative aux technologies traditionnelles. À partir de 2015, des voitures particulières hybrides au diesel devraient être mises en circulation. En 2030, les carburants et/ou technologies alternatifs devraient représenter 44% du parc de voitures particulières. À ce moment, le moteur hybride au diesel devrait constituer la principale motorisation alternative, suivie par le moteur CNG.

La distance parcourue sur une année varie sensiblement selon le type de voiture. Pour l'année de référence 2000⁶⁵, nous nous basons sur les mêmes distances annuelles moyennes que celles utilisées pour le calcul des coûts (cf. tableau E.5. dans l'annexe E). C'est la voiture à essence qui parcourt la plus petite distance. Les distances parcourues avec une voiture roulant au diesel et au GPL sont supérieures de 80%. Pour les motorisations hybrides et CNG, nous nous sommes basés respectivement sur les valeurs des versions traditionnelles et sur la valeur de la voiture à essence.

La ventilation du nombre de véhicules-kilomètres par type de carburant sur la période 2000-2030 donne les résultats suivants:

Tableau 30. Évolution de la part des différents types de carburant/technologie dans le nombre de kilomètres parcourus (vkm) en voiture particulière

Type de carburant	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Essence	44,6%	36,0%	29,7%	24,4%	20,4%	17,8%	16,5%
Essence - hybride	0,0%	0,2%	1,7%	3,1%	4,8%	6,4%	7,5%
Diesel	54,5%	63,0%	65,5%	58,5%	51,0%	45,5%	42,3%
Diesel - hybride	0,0%	0,0%	0,0%	7,5%	14,7%	19,7%	22,4%
GPL	0,9%	0,8%	0,6%	0,4%	0,3%	0,3%	0,3%
CNG	0,0%	0,0%	2,5%	6,0%	8,7%	10,3%	11,2%

Source : Logghe, S. et al. (2006), calculs BFP.

⁶⁴ Logghe, S. et al. (2000), op. cit.

⁶⁵ De Ceuster, G. (2004), Internalisering van externe kosten van wegverkeer in Vlaanderen, étude commissionnée par la Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2004/4, Transport & Mobility Leuven.

4.5.3.2. BTM

Partant des chiffres des rapports d'activité 2000 des sociétés De Lijn, STIB et TEC, il apparaît que les parts des bus, tram et métro représentent respectivement 89 %, 9,5 % et 1,5 % du nombre total de véhicules-kilomètres des BTM. Nous tablons que ces parts resteront constantes sur la période 2000-2030.

Tableau 31. Répartition du kilométrage parcouru par les BTM - 2000

Mode de transport	Part en 2000
Bus	89,0%
Tram	9,5%
Métro	1,5%

Sources : De Lijn (2000), STIB (2000), SRWT (2000), TEC Charleroi (2000), calculs BFP.

4.5.3.3. Train

Dans le projet SUSATRANS⁶⁶, le VITO part de l'hypothèse que le diesel représentera, à partir de 2010, 3,9 % du nombre de tonnes-kilomètres brutes remorquées pour le transport de voyageurs. Nous supposons que cette part restera constante au-delà de 2010 aussi.

Tableau 32. Évolution de la part de l'électricité et du diesel dans le nombre de tonnes-kilomètres brutes remorquées

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Electricité	96,2%	96,1%	96,1%	96,1%	96,1%	96,1%	96,1%
Diesel	3,8%	3,9%	3,9%	3,9%	3,9%	3,9%	3,9%

Source : De Vliegher, I., et al. (2005), calculs BFP.

4.5.4. Consommation spécifique d'électricité

4.5.4.1. Tram et métro

En ce qui concerne les modes tram et métro, la consommation spécifique d'électricité est égale au rapport entre la consommation d'électricité pour la traction et le nombre de véhicules-kilomètres réalisés en 2000. Les données concernant la consommation d'électricité proviennent des bilans énergétiques réalisés par les Régions flamande, bruxelloise et wallonne pour 2000^{67,68,69}. Ces données ont été obtenues respectivement auprès de De Lijn, de la STIB et des TEC.

⁶⁶ De Vliegher, I., et al., op.cit.

⁶⁷ Institut wallon (2002), Bilan énergétique de la Région de Bruxelles-Capitale 2000, Rapport pour le compte du ministère de la Région wallonne – DGTRE.

⁶⁸ Institut wallon (2002), Bilan énergétique de la Région wallonne 2000, rapport pour le compte du Ministère de la Région wallonne - DGTRE

⁶⁹ Aernouts, K., Jaspers, K. (2002), Energiebalans Vlaanderen 2000: onafhankelijke methode, VITO.

Tableau 33. Consommation électrique pour la traction dans les trois sociétés de transport public en 2000 - GWh

	2000
De Lijn	45,8
STIB	132,8
TEC Charleroi	6,4
Consommation spécifique d'électricité[kWh/véhicule-kilomètre]	6,36

Sources : Institut wallon (2002), Aernouts, K. et al. (2002), De Lijn (2000), STIB (2000), TEC Charleroi (2000), calculs BFP.

La consommation spécifique d'électricité est de 6,36 kWh par kilomètre parcouru. Nous partons de l'hypothèse d'une évolution constante de la consommation spécifique d'électricité par les modes tram et métro sur la période 2000-2030.

4.5.4.2. Train

L'évolution de la consommation spécifique d'électricité par le rail, exprimée en kWh par tonne-kilomètre brute remorquée, est tirée du projet SUSATRANS. La consommation spécifique d'électricité devrait rester constante après 2010.

Tableau 34. Évolution de la consommation spécifique d'électricité par le rail – kWh/tonne-kilomètre brute remorquée

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Train	0,044	0,037	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038

Source : De Vlieger, I. et al. (2005), calculs BFP.

4.5.5. Facteurs d'émission

4.5.5.1. Biocarburants

Aucune étude n'a encore analysé l'effet de la combinaison de biocarburants et de carburants classiques sur les émissions de polluants autres que le CO₂. C'est pourquoi seule l'hypothèse de la neutralité des biocarburants du point de vue de l'émission de CO₂ est prise en compte. Les dernières perspectives énergétiques de la Commission européenne⁷⁰ montrent l'évolution suivante de la part des biocarburants dans la consommation totale de carburants du transport par route:

Tableau 35. Évolution de la part des biocarburants dans la consommation de carburants par le transport par route

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Part des biocarburants	0,0%	0,3%	2,2%	4,6%	6,9%	8,0%	8,9%

Source : Commission européenne (2005)

D'après ces projections, l'objectif communautaire des 5,75 % en 2010 ne serait pas atteint. En 2030, la part des biocarburants devrait atteindre 8,9 %. Cette évolution est prise en compte dans le calcul des émissions en soustrayant les pourcentages présentés dans le Tableau 35 des facteurs d'émission de CO₂ de l'essence et du diesel.

⁷⁰ Commission européenne, DG TREN (2005), op. cit.

4.5.5.2. Teneur en soufre des carburants

La teneur maximale en soufre de l'essence et du diesel pour le transport par route est régie par la réglementation européenne. L'évolution des facteurs d'émission du dioxyde de soufre est calculée sur la base de la teneur maximale en soufre des carburants.

Tableau 36. Évolution de la teneur en soufre des différents carburants – g/kg

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Essence – route	0,15	0,05	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Diesel – route	0,35	0,05	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Diesel – rail	1,7	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047

Source : De Vlieger, I., et al. (2005)

Les données relatives à la consommation de diesel par les locomotives diesel sont tirées du projet SUSATRANS.

4.4.5.3. Émissions directes

Voitures particulières

Les facteurs d'émission jusqu'en 2020 sont tirés des résultats du projet SUSATRANS. Pour 2025 et 2030, ils sont évalués en appliquant les taux de croissance des facteurs d'émission, calculés dans le cadre de l'exercice TEMAT⁷¹ réalisé pour la Flandre, aux facteurs d'émission SUSATRANS pour 2020. Les résultats par type de carburant, et compte tenu de l'introduction des biocarburants, sont en moyenne les suivants:

Tableau 37. Évolution des facteurs d'émission moyens pour les voitures particulières – g/km

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
CO	5,25	3,54	2,37	1,42	1,05	1,02	1,03
CO ₂	195	184	169	154	145	144	148
N ₂ O	0,025	0,030	0,030	0,029	0,028	0,027	0,027
NO _x	0,839	0,603	0,430	0,310	0,285	0,278	0,275
PM	0,058	0,033	0,020	0,013	0,012	0,011	0,011
COV	0,673	0,278	0,100	0,049	0,043	0,041	0,039
SO ₂	0,032	0,006	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

Source : De Vlieger, I. et al. (2005), calculs BFP.

Au cours de la période 2000-2025, les facteurs d'émission sont en diminution pour tous les polluants. Pour le CO₂, la diminution est le résultat d'une utilisation accrue de véhicules moins gourmands en énergie et de la consommation de biocarburants. Pour le SO₂, la diminution s'explique par le renforcement des exigences relatives à la teneur en soufre des carburants. Au-delà de 2025, les facteurs d'émission sont en légère augmentation pour le CO, le CO₂ et le SO₂. Cela est dû à une progression de la part des plus grands véhicules dans le parc total de véhicules.

BTM

Dans les modes BTM, seuls les bus libèrent des émissions directes. Pour calculer les facteurs d'émission des autobus au-delà de 2020, la même méthode est appliquée que pour les voitures

⁷¹De Vlieger, I. (Ina.Devlieger@vito.be), TEMAT-BAU voor Vlaanderen, e-mail à Hoornaert, B. (bho@plan.be), 21 février 2006.

particulières. Ces facteurs d'émissions tiennent aussi compte de l'évolution de la part des biocarburants du Tableau 35.

Tableau 38. Évolution des facteurs d'émission pour les autobus – g/km

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
CO	2,88	2,73	2,64	2,62	2,62	2,62	2,61
CO ₂	787	768	748	742	731	726	720
N ₂ O	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
NO _x	9,98	8,44	6,19	4,23	3,15	2,60	2,43
PM	0,40	0,32	0,18	0,11	0,07	0,05	0,05
COV	1,32	1,14	1,13	1,14	1,17	1,19	1,19
SO ₂	0,176	0,025	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005

Source : De Vlieger, I. et al. (2005), calculs BFP.

Les valeurs reprises dans le Tableau 38 sont des valeurs moyennes pour l'ensemble du parc d'autobus. La baisse constatée au niveau du facteur d'émission de CO₂ est due à une utilisation accrue de biocarburants.

Train

L'évolution des facteurs d'émission, exprimés en g/tonne-kilomètre brute remorquée, est également tirée du projet SUSATRANS. Les facteurs d'émission sont supposés rester constants au-delà de 2010.

Tableau 39. Évolution des facteurs d'émission pour les locomotives et automotrices diesel – g/tonne-kilomètre brute remorquée

Polluant	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
CO	0,176	0,236	0,236	0,236	0,236	0,236	0,236
CO ₂	24,4	32,8	32,8	32,8	32,8	32,8	32,8
N ₂ O	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
NO _x	0,413	0,556	0,556	0,556	0,556	0,556	0,556
PM	0,020	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
SO ₂	0,027	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
COV	0,064	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086

Source : De Vlieger, I. et al. (2005), calculs BFP.

4.5.5.4. Émissions indirectes

Pour les émissions indirectes, seuls trois polluants sont considérés : le CO₂, le SO₂ et le NO_x. Les facteurs d'émission liés à la production d'électricité sont calculés en appliquant aux facteurs d'émission du parc de production d'électricité d'Electrabel⁷² en 2000 les taux de croissance tirés du modèle PRIMES.

Tableau 40. Évolution des facteurs d'émission pour la production d'électricité – g/kWh

Polluant	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
CO ₂	304	307	313	308	340	518	613
NO _x	0,457	0,471	0,478	0,441	0,415	0,529	0,591
SO ₂	0,389	0,370	0,365	0,247	0,096	0,058	0,055

Sources : Commission européenne (2005) , Electrabel (2000)

⁷² Electrabel (2000), rapport environnemental 2000, Bruxelles.

4.6. Résultats

Cette section présente quelques résultats du sous-modèle environnemental. La prépondérance de la voiture dans les émissions et la méthode de calcul ont facilité la sélection.

Selon le polluant et le scénario, la voiture représente 92% à 100% des émissions directes totales. L'évolution des émissions totales est, dès lors, très proche de l'évolution des émissions liées à la voiture. Cette section présente l'évolution des émissions totales tandis que l'évolution des émissions liées à la voiture est décrite à l'annexe F.

L'accent est mis sur la comparaison et l'explication des résultats obtenus pour les différents scénarios. Puisque la composition du parc automobile, du parc BTM et le matériel ferroviaire sont identiques dans les trois scénarios, l'écart, pour un mode de transport donné, entre les différents scénarios au niveau des émissions directes est le même pour tous les polluants. Cela vaut également pour les émissions indirectes. Pour comparer les scénarios, il suffit dès lors d'examiner un des polluants. Nous avons choisi le CO₂, le principal gaz à effet de serre. Les résultats pour les autres polluants sont présentés à l'annexe F.

4.6.1. Émissions directes

Le Tableau 41 présente l'évolution des émissions directes selon le scénario A0. Compte tenu de l'imposition de normes européennes plus strictes, les émissions de tous les polluants diminuent sur la période 2000-2020. La légère augmentation des émissions de N₂O est due à une utilisation accrue de pots catalytiques dans les voitures à essence. Sur la période 2020-2030, la baisse des émissions ralentit et l'on observe même une augmentation des émissions de CO₂, CO et SO₂, sous l'effet conjugué d'une augmentation de la demande de transport en voiture et du succès croissant des grosses voitures.

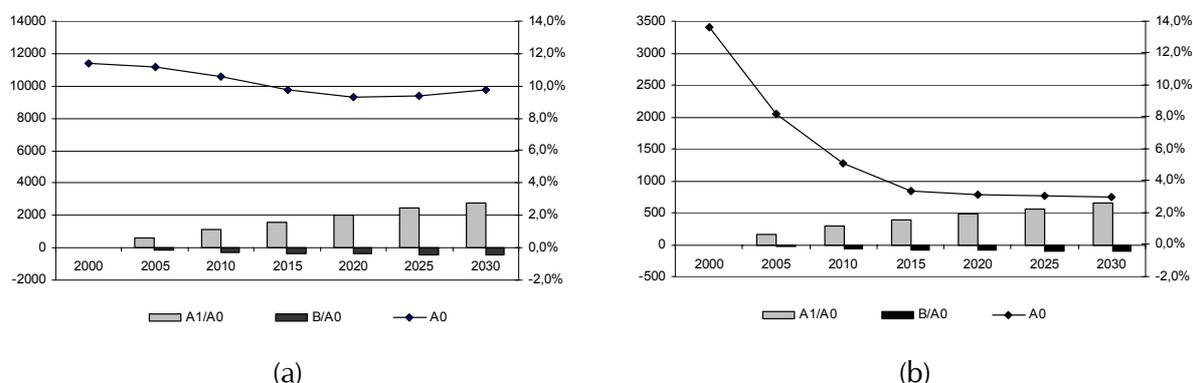
Tableau 41. Évolution des émissions directes d'après le scénario A0 - tonnes

Polluant	2000	2010	2020	2030	10//00	20//10	30//20
CO	304503	146844	67158	67832	-7,03%	-7,52%	0,10%
CO ₂	11401964	10563809	9345087	9767403	-0,76%	-1,22%	-0,44%
N ₂ O	1481	1845	1788	1774	2,22%	-0,31%	-0,08%
NO _x	50234	27693	18943	18743	-5,78%	-3,73%	-0,11%
PM	3407	1278	791	746	-9,34%	-4,68%	-0,58%
SO ₂	1903	68	59	62	-28,37%	-1,34%	0,47%
COV	39183	6360	2930	2773	-16,62%	-7,46%	-0,55%

Source : calculs BFP

La Figure 37 permet de comparer les émissions directes totales de CO₂ dans les scénarios A1 et B avec celles du scénario A0. Par rapport au scénario A0, les émissions directes totales de CO₂ devraient augmenter dans le scénario A1 et diminuer dans le scénario B. La même évolution devrait se dessiner pour les autres polluants. Ces différences peuvent s'expliquer respectivement par une augmentation et par une (légère) diminution du nombre de voyageurs-kilomètres par automobile.

Figure 37. Évolution des émissions directes totales de CO₂ en ktonnes (a) et PM en tonnes (b) dans le scénario A0 (échelle de gauche) et évolution des différences relatives entre les scénarios A1 et A0 (A1/A0) et entre les scénarios B et A0 (B/A0) (échelle de droite).

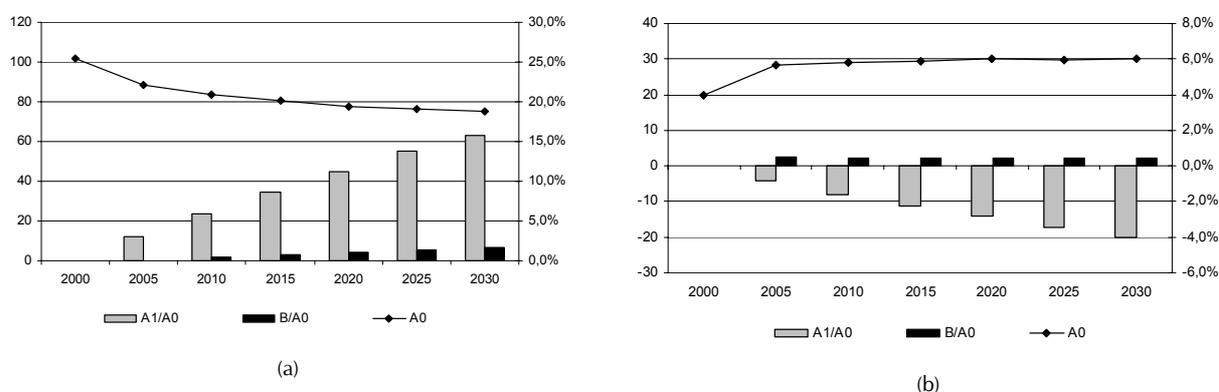


L'écart au niveau des émissions directes totales entre les différents scénarios s'amplifie, pour tous les polluants, entre 2000 et 2030. En 2030, les émissions directes totales de CO₂ sont 2,80% plus élevées d'après le scénario A1 et 0,44% moins élevées dans le scénario B, et ce par rapport au scénario A0.

La différence par rapport au scénario A0 est pratiquement la même quel que soit le polluant. Cela s'explique par le fait que (i) c'est la voiture qui est responsable de la majeure partie des émissions (93-100 % selon le polluant et le scénario) et que (ii) la composition du parc d'automobiles est la même dans tous les scénarios.

Pour les autres modes, les différences sont plus nettes. Compte tenu d'une demande de transport plus importante, les émissions directes de CO₂ générées par les modes BTM sont, dans les scénarios A1 et B, respectivement 15,77% et 1,67% plus élevées que dans le scénario A0. Pour le train, la demande plus faible de transport dans le scénario A1 fait baisser les émissions directes de CO₂ de 4,03% par rapport au scénario A0. Dans le scénario B, la demande plus forte en transport se traduit par une progression de 0,43% des émissions de CO₂.

Figure 38. Évolution des émissions directes de CO₂ en ktonnes des modes BTM (a) et train (b) dans le scénario A0 (échelle de gauche) et évolution des différences relatives entre les scénarios A1 et A0 (A1/A0) et entre les scénarios B et A0 (B/A0) (échelle de droite).



L'augmentation constatée sur la période 2000-2005 est la conséquence d'une augmentation des émissions de CO₂ par tonne-kilomètre brute remorquée des locomotives et automotrices diesel sur cette période.

4.6.2. Émissions indirectes

Le Tableau 42 synthétise l'évolution des émissions indirectes dans le scénario A0. L'évolution des émissions indirectes est surtout déterminée par l'évolution de la technologie du parc de production d'électricité. La majeure partie (91%) des émissions indirectes est imputable au rail.

La baisse constatée sur la période 2000-2010 est la conséquence d'une baisse de la consommation spécifique d'électricité par le rail sur cette période.

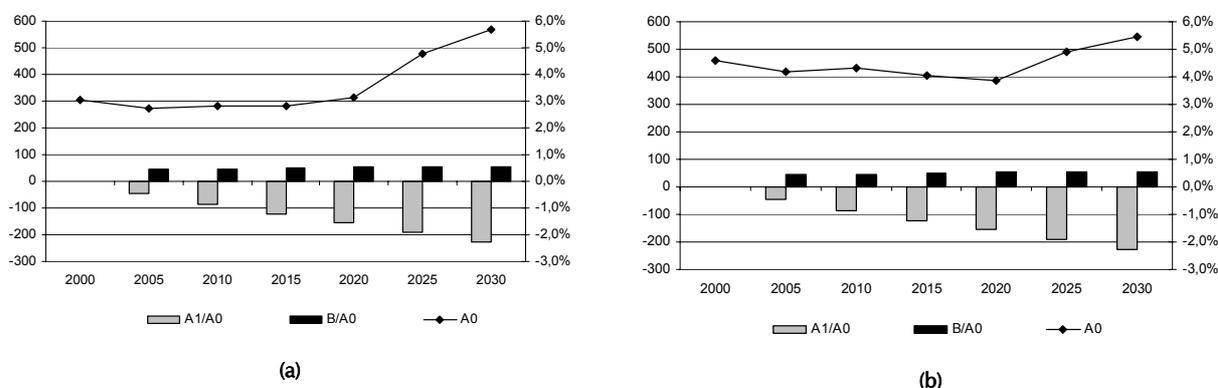
Tableau 42. Évolution des émissions indirectes dans le scénario A0 - tonne

Polluant	2000	2010	2020	2030	10//00	20//10	30//20
CO ₂	304514	283398	315796	567720	-0,72%	1,09%	6,04%
NO _x	458	433	385	547	-0,57%	-1,17%	3,58%
SO ₂	390	330	89	51	-1,65%	-12,28%	-5,40%

Source : calculs BFP

La Figure 39 permet de comparer les émissions indirectes de CO₂ et de NO_x dans les différents scénarios. Les émissions indirectes devraient diminuer dans le scénario A1 par rapport au scénario A0. Dans ce scénario A1, la baisse des émissions indirectes enregistrée pour le rail dépasse la hausse des émissions indirectes des modes BTM. En 2030, l'écart entre les deux scénarios est de 2,27%.

Figure 39. Évolution des émissions indirectes de CO₂ en ktonnes (a) et de NO_x en tonnes (b) dans le scénario A0 (échelle de gauche) et évolution des écarts relatifs entre les scénarios A1 et A0 (A1/A0) et entre les scénarios B et A0 (B/A0) (échelle de droite).



Dans le scénario B, la légère hausse (+ 0,54%) des émissions par rapport au scénario A0 est due à une hausse des déplacements réalisés avec les modes BTM et train.

Comparaison des résultats de MOBIDIC avec ceux d'autres études.

Dans cet encadré, nous comparons les résultats relatifs aux calculs des émissions de CO₂ suivant le scénario A0 avec les résultats de l'exercice le plus récent avec le modèle TREMOVE réalisée par Transport & Mobility Leuven (TML) pour la Belgique⁷³. La comparaison de ces deux études, permet de (i) mettre en avant l'incertitude inhérente à un certain nombre de variables explicatives et de (ii) déterminer l'importance relative de ces incertitudes.

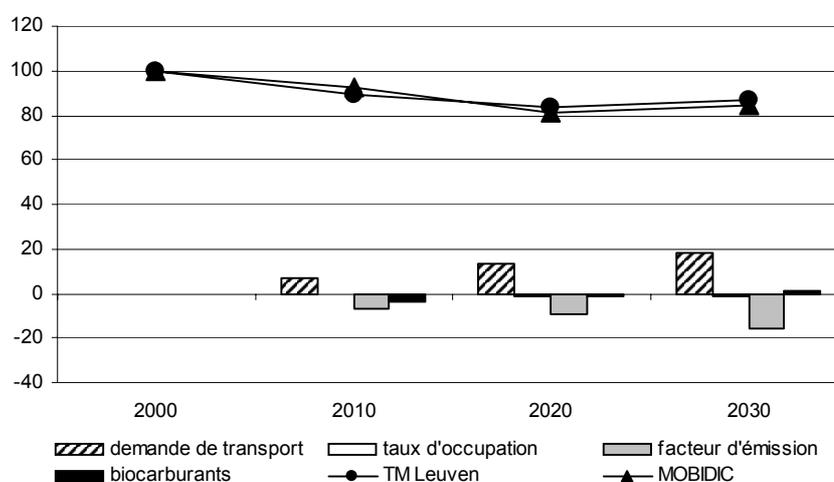
Nous observons notamment les variables suivantes :

- la demande de transport
- le taux d'occupation
- les facteurs d'émission
- la part des biocarburants

Nous comparons l'évolution des émissions. Vu la prépondérance de la voiture dans les émissions du transport de voyageurs, nous nous limitons à ce mode de transport. Les diagrammes en ligne reflètent l'évolution des émissions de CO₂ d'après le scénario de base TREMOVE et d'après le scénario A0 avec 2000 = 100 comme année de base. Dans les deux scénarios les émissions de CO₂ diminuent sur la période 2000-2020 et augmentent à nouveau sur la période 2020-2030. En 2010, la croissance selon le scénario A0 est de 3,6 de points de pourcentage plus élevée que dans le scénario de base de TREMOVE. En 2020 et 2030, la croissance selon le scénario A0 est respectivement de 2,4 et 2,0 points de pourcentage plus faible que dans le scénario TREMOVE.

La différence au niveau de l'évolution des émissions est limitée. Dans la Figure 40, nous décomposons la différence d'évolution entre le scénario TREMOVE et le scénario A0. Chaque colonne montre la différence d'évolution des différentes variables explicatives. Cette figure montre que les différences les plus significatives viennent, d'une part, de l'évolution de la demande de transport en voiture en termes de voyageurs-kilomètres et, d'autre part, de l'évolution des facteurs d'émission.

Figure 40: Evolution des émissions de CO₂ par les voitures estimées par TML et par le BFP selon le scénario A0 (diagrammes en ligne) et décomposition de la différence entre les deux scénarios par variable explicative – année de base 2000 = 100



⁷³ Logghe, S. et al. (2000), op. cit.

La demande de transport est plus importante dans le scénario TREMOVE que dans le scénario A0. En effet, le projet MOBIDIC tient compte de certains facteurs sociodémographiques afin de générer la demande de transport. La demande de transport dans le modèle TREMOVE est quant à elle élaborée sur base du modèle de transport européen SCENES⁷⁴. Ce modèle tient à la fois compte de ces facteurs sociodémographiques, mais aussi notamment de l'évolution des infrastructures de transport.

Les facteurs d'émission de CO₂ du modèle TREMOVE diminuent plus rapidement. Ces facteurs d'émission sont estimés annuellement pour l'ensemble du parc automobile. Aussi bien dans le modèle TREMOVE que dans le modèle TEMAT, les modules d'émission sont tributaires de COPERTIII et évaluent les facteurs d'émission pour les voitures en fonction du carburant, des normes d'émission, de la cylindrée, du type de route et de la vitesse (heures creuses/heures de pointe). La différence la plus importante concerne les accords ACEA. Dans le modèle TREMOVE, on considère que, dès 2009, les nouvelles voitures satisferont à la norme d'émission de 140 g de CO₂ par kilomètre parcouru, comme stipulé dans les accords ACEA. Par contre, dans le modèle TEMAT du VITO, sur lequel le scénario A0 se base, on considère que les nouvelles voitures n'atteindront pas cette norme. D'autres facteurs encore jouent un rôle, mais une comparaison de tous les paramètres nous mènerait trop loin.

La différence relative à l'évolution du nombre de voyageurs-kilomètres est plus importante que la différence dans l'évolution des facteurs d'émission. La part plus conséquente des biocarburants en 2010 implique que les émissions de CO₂ du modèle TREMOVE sont plus faibles cette année-là que dans le scénario A0. Après 2010, la différence concernant la part des biocarburants devient négligeable. Enfin, le taux d'occupation dans le modèle TREMOVE est très légèrement supérieur au nôtre sur toute la période 2000-2030.

4.7. Conclusions

Les résultats des simulations avec le sous-modèle environnemental confirment que la voiture constitue la source principale d'émissions directes dues au transport de personnes (transports aérien et fluvial exclus). Selon le scénario et le polluant considéré, la voiture produit entre 92 et 100 % des émissions totales.

L'adoption progressive de motorisations moins énergétivores (suite à la mise en œuvre des accords entre la Commission européenne et les constructeurs automobiles) et l'introduction des biocarburants devrait entraîner une baisse des émissions totales de CO₂ au cours de la période 2000-2020. Toutefois, ces émissions repartent à la hausse après 2020 en raison du succès croissant des grosses voitures et de l'augmentation régulière de la mobilité.

Par ailleurs, l'analyse montre que la prise en compte d'un taux de possession plus élevé à l'avenir du permis de conduire parmi les tranches d'âges supérieures, d'une part, et le ralentissement de l'exode rural, d'autre part, ont un impact sur l'évolution des émissions.

Les variations des émissions directes entre les différents scénarios sont principalement déterminées par la demande de transport par voiture. Un taux élevé de possession du permis de conduire entraîne une hausse de la demande de transport par voiture et, par conséquent, une augmentation des émissions. Par contre, un ralentissement de l'exode rural exerce une pression à la baisse sur la demande de transport par voiture, et donc, sur les émissions.

L'évolution de la composition du parc de production électrique détermine l'évolution des émissions indirectes de CO₂ imputables aux transports en BTM et en train. Au cours de la période 2000-2015, les émissions indirectes liées à ces deux catégories de modes de transport

⁷⁴ Universität Karlsruhe, Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung, <http://www.iww.uni-karlsruhe.de/SCENES>, 7 novembre 2001.

diminuent, et remontent ensuite en raison de changements dans la structure du parc de production (pénétration des centrales au charbon dans le mixte de production électrique pour compenser la fermeture des centrales nucléaires et satisfaire une demande toujours croissante d'électricité).

Un taux plus élevé de possession du permis de conduire entraîne une diminution de la demande de transport par train, et donc, une réduction des émissions indirectes. À l'inverse, un ralentissement de l'exode rural entraîne une augmentation de la demande de transport par train, et donc un accroissement des émissions indirectes.

Dans notre projection, la composition du parc de véhicules pour les différents modes de transport évolue indépendamment de la demande de transport. On pourrait cependant améliorer le mode de calcul des émissions en faisant précisément dépendre la composition des différents parcs de véhicules de la demande de transport. Ceci nécessiterait toutefois un travail de modélisation supplémentaire qui sort du cadre du projet MOBIDIC.

5. Conclusions & Perspectives

Des conclusions ont déjà été tirées au terme de la présentation des différents modules et sous-modèles. Nous n'allons donc pas revenir sur celles-ci mais plutôt présenter ici des conclusions plus générales sur l'ensemble du projet.

Le projet MOBIDIC est le fruit d'une collaboration étroite entre équipes de recherche venant d'horizons différents. Chaque équipe a pu mettre ses compétences au service des autres. En effet, un des aspects innovants de ce projet est d'avoir pu établir une chaîne complète d'outils méthodologiques qui permettent en partant de l'évolution de la démographie puis de la demande de mobilité d'estimer l'évolution des déplacements domicile-travail entre arrondissements et les émissions causées par le transport de personnes.

Dans chacune de ses parties, le projet de recherche MOBIDIC a ainsi pu apporter des résultats originaux que ce soit au point de vue de la démographie, de la mobilité ou de la distribution des flux de trafic mais en plus il a permis de combiner ces différents apports pour en tirer des enseignements sur des prospectives quant aux émissions polluantes causées par le trafic futur. Il nous semble qu'il contribue ainsi à un soutien scientifique en faveur d'un développement durable puisqu'il offre une méthodologie qui, malgré ses imperfections qui n'ont pas été cachées par chacun des intervenants, autorise les décideurs et plus largement les autorités politiques à prévoir quels pourront être à long terme les impacts environnementaux de l'évolution de la demande de mobilité, causée, entre autres, par les modifications démographiques.

Différents scénarios ont également été mis en place qui permettent de comparer les effets environnementaux dans certaines situations réalistes. Les outils et méthodes développés ouvrent d'ailleurs des possibilités pour tester d'autres cas qui pourraient résulter de la mise en œuvre de certaines politiques, de certaines mesures touchant, par exemple, l'aménagement du territoire ou le transport.

Comme nous l'avons déjà souligné, les techniques développées dans le cadre de MOBIDIC sont perfectibles et, par conséquent, des perspectives s'ouvrent pour des recherches complémentaires. Du point de vue démographique, les projections de ménages abordées ici et sujet assez original devraient être poussées plus avant et les transitions entre types de ménages étudiées plus largement. De même, les tendances dans les émigrations entre arrondissements pourraient être examinées puis modélisées plus finement. En ce qui concerne les profils de mobilité, le recours à des données plus récentes et/ou plus exhaustives permettrait d'éliminer certains biais apparaissant inévitablement dans les résultats ou même de pousser plus avant la désagrégation de ceux-ci que ce soit au niveau spatial ou au niveau des composantes socio-économiques. Des algorithmes modélisant plus finement les mécanismes entrant en ligne de compte dans la construction d'une population synthétique ou dans l'association d'indicateurs de mobilité à des catégories de population pourraient également être étudiés pour raffiner les modèles utilisés dans le cadre de ce projet. Des développements plus poussés pourraient aussi avoir lieu pour ce qui est du modèle de distribution des déplacements domicile-travail. Et, enfin, certaines hypothèses simplificatrices pourraient être levées dans le but d'améliorer le modèle calculant les émissions polluantes du trafic.

Malgré toutes ces possibilités d'amélioration, intrinsèques à tout projet de recherche, nous pensons cependant que MOBIDIC a permis de développer un cadre de travail, original sur bien des points, permettant des prévisions des émissions polluantes causée par le transport de personnes qui, et cela est peu courant, tiennent compte des évolutions démographiques attendues et des projections de demande de mobilité qui en résultent. De ce fait, MOBIDIC a

pour nous une valeur certaine pour l'appréhension et la compréhension par les décideurs des impacts environnementaux des phénomènes démographiques et de mobilité qui ont fait l'objet de ces recherches.

Bibliographies

Bibliographie du GÉDAP

- Billari F., (2005), "Partnership, childbearing and parenting : trends of the 1990s" . in Macura M., MacDonald A. L. et Haug W. (ed.), *The New Demographic Regime. Population Challenges and Policy Responses*, UNECE / UNFPA, Nations Unies, New York et Genève.
- Bopda A., Grasland C., Poulain M., (2000), *Evaluation comparative de l'influence des limites linguistiques sur les comportements migratoires : applications aux cas de la Belgique, du Cameroun et de la Tchécoslovaquie*, Actes du colloque de l'AIDELF, La Rochelle, Sept. 1998, AIDELF, Régimes démographiques et territoires : les frontières en question, pp. 107-124.
- Cattan N., Grasland C., (1994), "Migrations et effets de barrière en Tchécoslovaquie" , in Rey V. (ed.), *La Tchécoslovaquie en 1992 : transition, fragmentation, recomposition*, Presses de l'ENS Fontenay-Saint-Cloud, coll. Sociétés, Espaces, Temps, 97-120.
- Courgeau D., (1988), *Méthodes de mesure de la mobilité spatiale*, I.N.E.D., Paris.
- d'Aubigny G., Calzada C., Grasland C., Viho G., Vincent J.M., (2000), "Approche statistique des modèles d'interaction spatiale", *Cybergéo*, 11 p.
- Eggerickx T., Capron C., Hermia J-P, Oris M., (2002), *Démographie et développement durable. Migrations et fractures socio-démographiques en Wallonie (1990-2000)*, Services Fédéraux des Affaires Scientifiques, Techniques et Culturelles (SSTC), Liège-Louvain-la-Neuve, 208 p. + 32 planches de cartes.
- Eggerickx T, Poulain M., Schoumaker B, (2000), *La mobilité spatiale de la population*, Monographie 2 du recensement de la population de la Belgique, Institut National de Statistique, Bruxelles, 129 p.
- Eggerickx T, Gaumé C., Hermia J-P, (2002), « Dissolution des couples et devenir des enfants : une analyse de cheminement migratoire », *Enfants d'aujourd'hui. Diversité des contextes, Pluralité des parcours*, Colloque international de Dakar, AIDELF, 10-13 décembre 2002, (à paraître).
- Eggerickx T, Hermia J-P, Sanderson J.-P., (2003), « Transformations familiales et migrations en Belgique, de 1995 à 2000 », Journées scientifiques de Marseille – *Familles au Nord, familles au Sud*, Réseau Démographie- AUF, juin 2003, (à paraître).
- Grasland C., Mathian H., Vincent J.M., (2000), "Multiscalar Analysis and map generalisation of discrete social phenomena: Statistical problems and political consequences", *Statistical Journal of the United Nations ECE*, 17, IOS Press, 1-32.
- Grimmeau J.-P., (1994), «Le modèle gravitaire et le facteur d'échelle. Application aux migrations intérieures de la Belgique 1989-1991», *Espace, Populations, Sociétés*, 1, pp. 131-141.
- Grimmeau J.-P., (1995), «Les migrations entre la Flandre et la Wallonie», *Bulletin du Crédit Communal*, n°192, 2, pp. 23-41.

- Poulain M., (1981), *Contribution à l'analyse d'une matrice de migration interne*, Université catholique de Louvain, Recherches démographiques, 3, Louvain-la-Neuve.
- Poulain M., Van Goethem B., (1982), «Evolution à long terme de la mobilité interne de la population belge de 1948 à 1979», *Population*, n°2, pp. 319-340.
- Poulain M., (2004), Pour une typologie des ménages. (Article non diffusé). GéDAP-UCL
- Preston S. H., Heuveline P., Guillot M., (2005), *Demography. Measuring and Modeling Population Processes*. Blackwell Publishing, (1ere publication en 2001), Oxford (R.U.).
- Surkyn J., « Methodologische nota bij de LIPRO-huishoudensprojecties voor Vlaanderen (1991-2016) ». Working Paper, Steunpunt Demografie, V.U.B., 4.
- Van Hecke E., (1992), «De evolutie van de migratietendensen 1977-1990 in de Belgische ruimte», *Bevolking en Gezin*, 2, pp. 1-27.
- Van Hecke E., (1992), «Ruimtelijke analyse van de migraties naar leeftijd», *Bevolking en Gezin*, 3, pp. 77-103.
- Van Imhoff E., Keilman N., (1991), *LIPRO 2.0: an application of a dynamic demographic projection model to household structure in the Netherlands*. Swets en Zeitlinger/ N.I.D.I./ CBGS, Amsterdam / Lisse (Netherlands).
- Van Imhoff E., (1994), *Lipro tutorial 3.0*. N.I.D.I., La Haye (Netherlands).
- Willaert D., (1999), «Een nieuwe ruimtelijke indeling voor de studie van interne migratiebewegingen», Working Papers, Steunpunt Demografie, 2, 39 p.
- Willaert D., (1999), «Migratieprofielen naar leeftijd voor migratiebekkens en zones in de nieuwe ruimtelijke indeling», Working Papers, Steunpunt Demografie, V.U.B., 6, 31 p.
- Willekens F., (1982), «Identification and measurement of spatial population movements», Working paper of the N.I.D.I., n°33.

Bibliographie du GRT

- Beckman R.J., Baggerly K. A. and McKay M.D., (1996), Creating synthetic baseline populations. *Transportation Research* 30A(6), 415-429, November 1996
- Bonnell P., Armoogun J. and Madre J.-L., (2005), Les enseignements d'une comparaison des enquêtes transports nationales dans 13 pays, *Proceedings of ETC 2005* (Strasbourg)
- Bouckhuys A., (2002), Génération d'une population synthétique, FUNDP, (promoteur du mémoire Ph. Toint, Eric Cornélis)
- Castaigne M, Cornélis E, Hubert J.P, (2005), Déterminants des choix modaux dans les chaînes de déplacements, rapport de recherche 2004/2005, Département de Mathématique, FUNDP
- Castaigne M., Hubert J.P, Toint Ph., (2004), La mobilité des aînés en Wallonie, Collection « Mobilité et transports », 168p.
- Cirillo C., Cornélis E., Legrain L. and Toint Ph., (2003), Combining Spatial and Temporal Dimensions in Destination Choice Models, *Proceedings of European Transport Conference*, October 2003
- Conn A., Gould N. and Toint Ph., (1991), *LANCELOT a Fortran Package for Large Scale Non Linear Optimisation (release A)*. Springer series in computational mathematics 17 Springer-Verlag (Heidelberg)
- Cornelis E., Legrain L., Toint Ph., Synthetic populations: a tool for estimating travel demand, *Journal of Operation and Logistics*.
- Cornelis E., Legrain L. and Toint Ph., (2005), Estimation de la demande de mobilité par la création d'une population synthétique. *Proceedings of ATEC 2005, Issy-les-Moulineaux*
- FAMOS, A multimodal activity-based travel demand modelling system for Florida, University of South Florida, Department of civil and environmental engineering, 2004
- Frick M. and Axhausen K. W., (2004), Generating synthetic populations using IPF and Monte Carlo techniques: some new results. *Technical report, conference paper STRC 2004*
- Hubert J.P and Toint Ph., (2002), La Mobilité quotidienne des Belges, Collection « Mobilité et transports », 352p.
- Kitamura R., Chen C. and Pendalya R. M., (1997), Generation of synthetic daily activity-travel patterns, *Transportation Research Record* 1607, pp.154-162.
- Little R.J.A. and Wu M, (1991), Models for contingency tables with known margins when target and sampled populations differ. *Journal of the American Statistical Association*, March 1991, vol. 86, n° 413, *Theory and Methods*

Los Alamos National Laboratory, (2004), <http://transims.tsasa.lanl.gov> *Transportation Analysis SIMulaton System*

Lothaire O. and Toint Ph., (2003), A Toolbox Approach to Data Correction and Imputation in *Capturing Long-Distance Travel*, Axhausen, K.W., Madre, J.-L., Polak, J.W. and Toint, Ph. L. editors, Research Sciences Press (Baldock), 244-255

OPUS, (2005), <http://www.opus-project.org>

Pendyala R.M. and Kitamura R., (2004), FAMOS : the Florida Activity Mobility Simulator, *Conference on progress in activity-based analysis* (Maastricht)

Pribyl O. and Goulias K. G., (2004), Simulation of daily activity patterns, paper submitted for presentation at the EIRASS workshop on Progress in activity based analysis in Maastricht, May 2004

Toint Ph., E. Cornelis, A. Verhetsel, I. Thomas, F. and Witlox F. (2005), Spatial Analysis and Modelling Based on Activities (SAMBA), final report SPSD II.

Bibliographie du BFP

- Adviesdienst Verkeer en Vervoer, Personenvervoer: groei reistijdwaardering in de tijd, <http://www.rws-avv.nl>.
- Aernouts, K., Jespers, K. (2002), Energiebalans Vlaanderen 2000: onafhankelijke methode, VITO.
- Bureau fédéral du Plan (2005), Perspectives Economiques 2005-2010, avril 2005.
- Cameron, A.C. and P.K. Trivedi (1998), Regression Analysis of Count Data, Cambridge University Press.
- Commission Bancaire, Financière et des Assurances (CBFA), <http://www.cbfa.be> .
- Commission européenne, DG TREN (2005), Perspectives énergétiques, baseline novembre 2005.
- Cornelis, E., MOBEL, <http://www.mobel.be>, december 2000.
- De Ceuster, G. (2004), Internalisering van externe kosten van wegverkeer in Vlaanderen, Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2004/4, Transport & Mobility Leuven.
- De Lijn (2000), Jaarverslag 2000, Mechelen.
- De Vlieger, I., L. Pelkmans, S. Verbeiren, E. Cornelis, L. Int Panis, S. Proost and J. Knockaert (2005), Sustainability assessment of technologies and modes in the transport sector in Belgium (SUSATRANS), final report SPSD II.
- De Vlieger, I. (Ina.Devlieger@vito.be), TEMAT-BAU voor Vlaanderen, e-mail à Hoornaert, B. (bho@plan.be), 21 février 2006.
- De Wasseige Y., M. Laffut, C. Ruyters et P. Schleiper (2000), Bassins d'emploi et régions fonctionnelles : méthodologie et définitions des bassins d'emploi belges, Discussion Paper 2005 du SES (Région Wallonne).
- Dujardin C. (2001), Effet de frontière et interaction spatiale. Les migrations alternantes et la frontière linguistique en Belgique, *L'Espace Géographique*, Vol. 30, No. 4, 307 - 320.
- EEA (2000), COPERT III, Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport, Methodology and emission factors (Version 2.1).
- Eijgenraam, C.J.J., C.C. Koopmans, P.J.G. Tang en A.C.P. Verster (2000), Evaluatie van Infrastructuurprojecten, Leidraad voor Kosten-batenanalyse, Deel II : Capita selecta, Onderzoeksprogramma Economische Effecten Infrastructuur, Centraal Planbureau en Nederlands Economisch Instituut.
- Electrabel (2000), Rapport environnemental 2000, Bruxelles.

- Englert, M., N. Fasquelle, M.-J. Festjens, M. Lambrecht, M. Saintrain, C. Streeel and S. Weemaes (2002), Perspectives financières de la sécurité sociale 2000-2050, Le vieillissement et la viabilité du système légal des pensions, Planning Paper 91, Bureau fédéral du Plan.
- Fotheringham A. S. and M. E. O'Kelly (1989), *Spatial Interaction Models: Formulations and Applications*. Kluwer Academic, Amsterdam.
- Grasland C. (2001), *Analyse spatiale des phénomènes sociaux*. Miméo, Université Paris VII – UMR Géographie-Cité.
- Groupement des sociétés agréées de contrôle automobile et du permis de conduire (GOCA), <http://www.goca.be>.
- Greene, W.H. (2003), *Econometric Analysis*, Prentice Hall.
- Hubert, J.P., Toint, P. (2002) , La mobilité quotidienne des Belges, Collection Mobilité et Transports.
- IEA (2002), *Energy Prices and Taxes*.
- ICN (2005), *Comptes régionaux 1995-2003*.
- INS (2002), *Véhicules à moteur neufs et d'occasion mis en circulation*.
- Institut Wallon (2002), *Bilan énergétique de la Région wallonne 2000, rapport pour le compte du Ministère de la Région wallonne - DGTRE*.
- Institut Wallon (2002), *Bilan énergétique de la Région de Bruxelles-Capital 2000, rapport pour le compte de l'Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement – service Energie*.
- Knockaert, J. and S. Proost (2004), *SUSATRANS, Annex VI, Baseline for Car Choice Models*, mimeo, CES, K.U.Leuven.
- Logghe, S., B. Van Herbruggen and B. Van Zeebroeck (2006), *Emissions of Road Traffic in Belgium, report under the authority of FEBIAC and FPS Mobility and Transport, Transport & Mobility Leuven (TML)*.
- MEET (1999), *Methodology for calculating transport emissions and energy consumption, financé par la Commission européenne, DG VII*.
- Mérenne-Schoumaker B., H. Van der Haegen et E. Van Hecke (1999), *Migrations de travail et migrations scolaires, Monographie 11B*, INS.
- Ministère des communications et de l'infrastructure (2000), *Statistique des Transports en Belgique*, Bruxelles.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (Adviesdienst Verkeer en Vervoer) en Centraal Planbureau (2004), *Directe effecten infrastructuurprojecten, Aanvulling op de leidraad OEI, in opdracht van Ministerie van Verkeer en Waterstaat en Ministerie van Economische Zaken*.
- Nellthorp, J., T. Sansom, P. Bickel, C. Doll and G. Lindberg (2001), *Valuation Conventions for UNITE, UNITE (Unification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency), funded by the 5th Framework RTD Programme, ITS, University of Leeds*.

Ortúzar J. de D. and L.G. Willumsen (2001), *Modelling Transport*: Third Edition. John Wiley and sons, Chichester.

Quinet E. and R. Vickerman (2004), *Principles of Transport Economics*. Edward Elgar.

SNCB (2000), *Annuaire statistique 2000*, Bruxelles.

STIB (2000), *Rapport d'activité 2000*, Bruxelles.

Universität Karlsruhe, Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung, <http://www.iww.uni-karlsruhe.de/SCENES>, 7 novembre 2001.

Verkade, E. and W. Vermeulen (2005), The CPB regional labour market model. A tool for long-term scenario construction, in: F. van Oort, M. Thissen and L. van Wissen (eds.), *A survey of spatial economic planning models in the Netherlands. Theory, application and evaluation*, Netherlands Institute for Spatial Research, p. 46-61.

SRWT (2000), *Rapport annuel 2000*, Jambes.

TEC Charleroi (2000), *Rapport 2000*, Charleroi.

Vuidar, B. (2004), *Activité de support à la politique fédérale de mobilité et transports, Volume 2 : Le compte satellite transport*, Bureau Fédéral du Plan, Bruxelles.

Annexes

Annexe A : Les 43 arrondissements belges

Arrondissement	
Numéro	Nom
11	Anvers
12	Malines
13	Turnhout
21	Bruxelles-Capitale
23	Hal-Vilvoorde
24	Louvain
25	Nivelles
31	Bruges
32	Dixmude
33	Ypres
34	Courtrai
35	Ostende
36	Roulers
37	Tielt
38	Furnes
41	Alost
42	Termonde
43	Eeklo
44	Gand
45	Audenarde
46	Saint-Nicolas
51	Ath
52	Charleroi
53	Mons
54	Mouscron
55	Soignies
56	Thuin
57	Tournai
61	Huy
62	Liège
63	Verviers
64	Waremme
71	Hasselt
72	Maaseik
73	Tongres
81	Arlon
82	Bastogne
83	Marche-en-famenne
84	Neufchateau
85	Virton
91	Dinant
92	Namur
93	Philippeville

Annexe B: Les déplacements domicile-travail en Belgique dans une perspective historique

Les déplacements domicile-travail sont également appelés migrations alternantes ou pendulaires. Cette annexe a pour objet l'analyse descriptive de ces migrations, relativement importantes en Belgique. Les recensements décennaux permettent d'obtenir un état des lieux très précis de ce type particulier de déplacement. Cette annexe se base sur la monographie de l'INS relative aux migrations de travail (INS, 1999) pour ce qui concerne la période allant jusqu'au recensement de 1991, ainsi que sur des calculs propres effectués sur base de l'Enquête socioéconomique 2001⁷⁵.

Il semble que le phénomène des migrations alternantes soit une vieille tradition belge. Dès 1870, avec l'apparition des abonnements de chemin de fer à bon marché, on voit se développer une scission importante entre le lieu de résidence et le lieu de travail. D'autres facteurs s'ajoutent à cette diminution des prix des transports pour expliquer ce phénomène, notamment l'évolution de la vie rurale, caractérisée par le développement des exploitations agricoles. En outre, une croissance démographique importante, parallèle à une augmentation du nombre de fabriques en ville et donc de la demande de main-d'œuvre non qualifiée contribuent également à l'augmentation des mouvements pendulaires. En effet, les migrants alternants profitent à la fois des meilleures conditions d'habitat de la campagne et des relativement bonnes rémunérations salariales offertes en ville. De plus, la durée du travail étant plus courte en ville, du temps est libéré pour les déplacements.

Après la deuxième guerre mondiale, la croissance des migrations pendulaires continue de plus belle mais d'autres éléments sont maintenant à la base de cette augmentation. D'une part, l'introduction de la semaine de cinq jours et de la sécurité sociale a contribué à rendre plus attractive la migration alternante. Du côté des moyens de déplacement, le développement des réseaux de chemin de fer et de bus à la campagne, combiné à l'utilisation de plus en plus courante de la voiture, ont également joué un rôle important. Enfin, l'habitat rural est devenu plus recherché et plus valorisé que l'habitat des villes, ce qui a eu pour conséquence l'installation de citadins dans des quartiers plus résidentiels. En conséquence, les employés sont aussi devenus des migrants alternants.

B.1. L'évolution des migrations alternantes entre 1970 et 2001 : aperçu général

Le Tableau B1 fournit un premier point de départ pour l'analyse de l'évolution des déplacements domicile-travail de la population belge. Étant donné que l'unité géographique considérée ici est la commune, il importe de préciser que les chiffres de 1970 et ceux de 1981 ne sont pas directement comparables suite à la fusion des communes opérée en 1977. En effet, un travailleur se déplaçant dans une commune limitrophe en 1970 pourrait ne plus être considéré comme migrant alternant en 1981.

⁷⁵ Dans son édition de 2001, le recensement a été rebaptisé Enquête socioéconomique.

Tableau B1. Lieu de travail de la population active belge en 1970, 1981, 1991 et 2001

Lieu de travail	1970		1981		1991		2001	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Dans la commune de résidence	1744378	50,2	1738423	50,7	1467867	43,0	1043575	32.2
Travailleurs à domicile	590655	17,0	458441	13,4	387258	11,3		
Travaillant ailleurs dans la commune de résidence	1153723	33,2	1279982	37,3	1080609	31,6		
En dehors de la commune de résidence	1663852	47,9	1643730	48,0	1907638	55,8	2195043	67.8
Dans l'arr. de résidence	912855	26,3	783812	22,9	933546	27,3	955235	29.5
Dans un autre arr.	679061	19,5	793086	23,1	914806	26,8	1173514	36.2
A l'étranger	71936	2,1	66832	2,0	59286	1,7	66294	2.0
Lieu de travail variable	65310	1,9	44371	1,3	40212	1,2		
Total	3473540	100,0	3426524	100,0	3415717	100,0	3238618	100,0
Lieu de travail inconnu	51019		92546		235986		703686	
Total général	3524559		3519070		3651703		3942304	

Source : INS (1999) et calculs propres sur base de l'Enquête socioéconomique de 2001

Entre 1970 et 1991, alors que la population active occupée n'augmente que de 3,6%, le nombre de migrants alternants s'accroît de 14,7%. La part des travailleurs se rendant en dehors de sa commune de résidence passe de 47,9% à 55,8%, n'augmentant que de 7,9 points de pourcentage. Ce chiffre doit bien entendu être analysé à la lumière de l'évolution des unités géographiques, ce qui permet de supposer une sous-estimation massive de la croissance des migrations pendulaires sur cette période et plus particulièrement entre 1970 et 1981.

Lorsque l'on prend l'arrondissement comme unité d'analyse – unité d'analyse qui reste comparable sur cette période – force est de constater que le nombre de migrations alternantes s'envole. Il augmente en effet de 34,7% entre 1970 et 1991. Une autre manière de constater cette évolution est de comparer les parts relatives des travailleurs dont le lieu de travail se situe dans un autre arrondissement. Cette part augmente de façon linéaire sur les deux périodes : elle augmente chaque fois d'un peu plus de 3,5 points de pourcentage et passe ainsi de 19,5% en 1970 à 26,8% en 1991.

L'évolution observée au cours de la dernière décennie nous montre une augmentation encore plus nette du nombre de migrations alternantes. Selon que l'on prend la commune ou l'arrondissement comme unité géographique, la part de ces migrations augmente respectivement de 12 et de 9,4 points de pourcentage. La conclusion de cette brève analyse descriptive est que les migrations alternantes n'ont fait qu'augmenter sur cette période, et que cette augmentation se soit accélérée pendant la dernière décennie du vingtième siècle.

B.2. La durée, les distances et les modes de déplacement

Après cette première vue d'ensemble des migrations alternantes, il est également possible d'analyser plus en profondeur leurs caractéristiques. Cette section décrit les distances, les modes et la durée de ces déplacements⁷⁶.

Tableau B2. Distances des déplacements domicile-travail au sein du royaume en 1970, 1981, 1991 et 2001

Distances en km	1970		1981		1991		2001	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Moins de 3 km	686288	26,0	585648	20,8	467152	16,7	450882	13,3
De 3 à moins de 5 km	539208	20,5	363534	12,9	312637	11,2	305645	9,0
De 5 à moins de 10 km	544855	20,7	653029	23,2	597531	21,3	663910	19,6
De 10 à moins de 20 km	430230	16,4	587797	20,9	629260	22,5	784745	23,2
De 20 à moins de 30 km	183650	7,0	258461	9,2	308967	11,0	418937	12,4
De 30 à moins de 50 km	142584	5,4	215160	7,7	266730	9,5	400732	11,8
De 50 à moins de 70 km	67599	2,6	89966	3,2	119326	4,3	192025	5,7
70 km et plus	38754	1,5	57425	2,0	99231	3,5	169008	5,0
Total	2630168	100,0	2811020	100,0	2800834	100,0	3385884	100,0
Distance en km inconnue	55089		182756		404325		556420	
Total général	2685527		2993776		3205159		3942304	

Source: INS (1999) et calculs propres sur base de l'Enquête socioéconomique de 2001

Le Tableau B2 présente les déplacements domicile-travail par classe de distance. Le principal enseignement de ce tableau est que le nombre de déplacements courts diminue au profit des déplacements longs. En effet, si on considère chaque classe de distance, on observe que les deux premières sont en diminution constante sur la période étudiée alors que les cinq dernières sont en augmentation constante. La part des déplacements dont la distance est inférieure à 10 km a chuté de plus de 25 points de pourcentage en 30 ans alors que celle des déplacements dont la distance est supérieure à 30 km passe de 9,5% en 1970 à 22,5% en 2001. Comme souligné par l'INS (1999), la cause de ce changement est le découplage de plus en plus grand entre le lieu de résidence et le lieu de travail, phénomène qui va de pair avec la suburbanisation des activités économiques et des locations résidentielles. Un indicateur qui permet de résumer cette évolution est la distance moyenne pondérée. Cette dernière, qui s'élevait à 11,9 km en 1970, passe à 14,6 km en 1981, à 17,6 km en 1991 et à 20,7 en 2001. La distance moyenne aura donc augmenté de près de 75% en 30 ans.

⁷⁶ Les totaux des tableaux B1 à B4 ne correspondent pas toujours. Pour une explication de ces différences, voir INS (1999).

Tableau B3. Durée de tous les trajets (dans et hors de la commune mais dans le royaume) en 1970, 1981 et 1991

Durée des déplacements	Nombre de personnes actives					
	1970		1981		1991	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Court: moins de 15 min.	1008837	38,3	1207603	43,0	597387	25,0
Normal: de 15 à moins de 29 min.	906880	34,4	952169	33,9	840495	35,2
Assez long: de 30 min à moins de 1 heure	511683	19,4	481152	17,1	698609	29,3
Long: de 1 h à moins de 1 h 30 min.	141467	5,4	117939	4,2	189822	8,0
Très long: 1 h 30 min. et plus	67398	2,6	52697	1,9	60544	2,5
Total	2636265	100,0	2811560	100,0	2386857	100,0
Durée inconnue	48992		182216		748627	
Total général	2685257		2993776		3135484	

Source: INS (1999)

Le Tableau B3 reprend les chiffres absolus et relatifs des durées des déplacements de 1970 à 1991. Il s'agit donc de la reproduction exacte du tableau I.25 de INS (1999). En effet, les résultats à la question de la durée des déplacements pour l'Enquête socioéconomique de 2001 n'étant pas encore disponibles, il n'a pas été possible d'actualiser ce tableau. On constate néanmoins que l'évolution de la durée des trajets ne suit pas exactement celle de la distance des trajets. Bien que la durée d'un déplacement soit normalement proportionnelle à sa longueur, d'autres caractéristiques entrent en jeu dans la détermination de la durée du trajet. Entre 1981 et 1991, la moyenne pondérée de la durée augmente sensiblement et passe de 24 minutes à 32 minutes. Cette progression n'est pas seulement due à l'augmentation de la distance des déplacements mais également à une plus grande congestion du trafic qui ralentit les déplacements. Entre 1970 et 1981, l'évolution de la durée est différente de celle de la distance. En effet la moyenne pondérée de la durée passe de 26 à 24 minutes. La cause de cette évolution particulière est à chercher du côté de la composition modale des déplacements. Au cours des années septante, la voiture prend une place de plus en plus importante. Beaucoup de déplacements en bus, en tram ou à vélo sont dorénavant effectués en voiture, ce qui raccourcit considérablement la durée d'un trajet d'une même distance. En ce qui concerne l'évolution entre 1991 et 2001, on peut raisonnablement penser qu'elle suivra l'évolution de la décennie qui la précède et ce pour les mêmes raisons, à savoir l'augmentation de la distance et de la congestion.

La dernière caractéristique des déplacements qui fait l'objet de notre analyse est le mode de transport. Tout d'abord, il importe d'apporter une précision quant à la comparabilité des différents recensements. Entre 1991 et 2001, les modes vélo et moto ne sont pas comparables. En 1991, le mode vélo inclut le mode cyclomoteur alors qu'en 2001, ce dernier est accouplé au mode moto.

Le Tableau B4 laisse apparaître une utilisation croissante de la voiture aux dépens des autres modes de transport. En effet, la part des déplacements effectués en voiture à titre de conducteur passe de 30,8% en 1970 à 68,2% en 2001, soit plus du double. Les déplacements en transport en commun, en train et à pied connaissent, quant à eux, une décroissance sur toute la période

étudiée. Le transport organisé par l'employeur subit également un recul mais semble se maintenir entre 1991 et 2001. Bien que, comme mentionné ci-dessus, il existe des problèmes de comparabilité entre les modes moto et vélo, il apparaît néanmoins clairement que le mode vélo est en recul au cours de la dernière décennie étudiée. En effet, si on part de l'hypothèse la plus large selon laquelle le mode moto n'inclut, en 2001, que des déplacements en vélomoteur et que l'on affecte ces déplacements à la catégorie vélo, on obtient une part de 8,8%. Cette part, légèrement surévaluée, reste inférieure à celle observée en 1991. L'utilisation du vélo et du vélomoteur est donc bien en régression sur les trois dernières décennies. En ce qui concerne l'utilisation de la moto, il n'est pas possible de savoir si elle a augmenté au cours de la dernière période.

Tableau B4. Principal moyen de transport utilisé pour tous les déplacements en 1970, 1981, 1991 et 2001

Principaux moyens de transport utilisés	Nombres de personnes actives occupées							
	1970		1981		1991		2001	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Voiture (comme conducteur)	816087	30,8	1335027	48,2	1796564	60,8	2459719	68,2
Vélo	455505	17,2	313488	11,3	276137	9,3	231162	6,4
Voiture (comme passager)	157407	5,9	227783	8,3	262971	8,9	176265	4,9
Bus/tram/métro (transport en commun)	424234	16,0	268484	9,7	190285	6,4	189483	5,3
Train	274768	10,4	220801	7,9	183177	6,2	201383	5,6
Transport organisé par l'employeur	112745	4,3	100309	3,9	69367	2,3	81835	2,3
Moto	30591	1,1	20542	0,7	9714	0,3	84920	2,4
Aucun (tout à pied)	378335	14,3	276937	9,9	168278	5,7	179879	5,0
Total	2649672	100,0	2763371	100,0	2956493	100,0	3604646	100,0
Moyen de transport inconnu	35585		9017		307952		337658	
Total général	2685257		2772388		3264445		3942304	

Source: INS (1999) et calculs propres sur base de l'Enquête socioéconomique de 2001

Une dernière conclusion peut être tirée de l'analyse descriptive de l'évolution des déplacements effectués en voiture comme passager. Bien que ceux-ci augmentent parallèlement aux déplacements par le mode voiture/conducteur sur la période 1970 – 1991, il n'en va pas de même entre 1991 et 2001. Il apparaît que l'usage de la voiture non seulement augmente massivement mais s'individualise aussi de plus en plus.

Annexe C : L'estimation d'un modèle gravitaire à double contrainte par le modèle de Poisson

L'estimation d'un modèle gravitaire à double contrainte par le modèle de Poisson procède de la façon suivante. Dans le modèle de Poisson la probabilité que T_{ij} corresponde au nombre de déplacements entre i et j est donnée par :

$$P(T_{ij}) = \frac{\exp(-\lambda_{ij}) \lambda_{ij}^{T_{ij}}}{T_{ij}!}.$$

où $T_{ij}!$ est le factoriel de T_{ij} . La log-vraisemblance d'une série de flux observés où chaque flux est le résultat d'un processus de Poisson particulier, est :

$$L^* = \sum_{i,j} \ln \left[\frac{\exp(-\lambda_{ij}) \lambda_{ij}^{T_{ij}}}{T_{ij}!} \right].$$

Maximiser la fonction revient à maximiser :

$$Z = \sum_{i,j} (T_{ij} \ln \lambda_{ij} - \lambda_{ij}).$$

Cette fonction doit être maximisée par rapport à d_i , h_i , β_0 et β_1 . Le système suivant d'équations assure la maximisation de Z :

$$\begin{aligned} \sum_j T_{ij} &= \sum_j \lambda_{ij} & \forall i \\ \sum_i T_{ij} &= \sum_i \lambda_{ij} & \forall j \\ \sum_{i,j} T_{ij} (1 - B_{ij}) \ln c_{ij} &= \sum_{i,j} \lambda_{ij} (1 - B_{ij}) \ln c_{ij} \\ \sum_{i,j} T_{ij} B_{ij} \ln c_{ij} &= \sum_{i,j} \lambda_{ij} B_{ij} \ln c_{ij} \end{aligned}$$

La première série de conditions de premier ordre garantit que $P_i = \sum_j \lambda_{ij} (\forall i)$. La seconde série de conditions de premier ordre garantit que $D_j = \sum_i \lambda_{ij} (\forall j)$.

Annexe D : L'Enquête socioéconomique de 2001

Le Tableau D1 donne un aperçu des 29 combinaisons de modes de transport incluses dans l'Enquête socioéconomique. Le Tableau D2 montre comment ces 29 combinaisons sont regroupées en six modes principaux.

Tableau D1. Les modes de transport de l'Enquête socioéconomique de 2001

Code	Description
1	Marche
2	Vélo
3	Vélocycle/moto
4	Vélocycle/moto + Vélo
5	Transport organisé par l'employeur
6	Transport organisé par l'employeur + Vélo
7	Transport organisé par l'employeur + Vélocycle/moto
8	Voiture (conducteur)
9	Voiture (conducteur) + Vélo
10	Voiture (conducteur) + Vélocycle/moto
11	Voiture (conducteur) + Transport organisé par l'employeur
12	Voiture (passager)
13	Voiture (passager) + Vélo
14	Voiture (passager) + Vélocycle/moto
15	Voiture (passager) + Transport organisé par l'employeur
16	Voiture (passager) + Voiture (conducteur)
17	Rail
18	Rail + Vélo
19	Rail + Vélocycle/moto
20	Rail + Transport organisé par l'employeur
21	Rail + Voiture (conducteur)
22	Rail + Voiture (passager)
23	Bus/tram/métro
24	Bus/tram/métro + Vélo
25	Bus/tram/métro + Vélocycle/moto
26	Bus/tram/métro + Transport organisé par l'employeur
27	Bus/tram/métro + Voiture (conducteur)
28	Bus/tram/métro + Voiture (passager)
29	Bus/tram/métro + Rail

Source: Enquête socioéconomique (2001)

Tableau D2. La définition des modes de transport principaux

Mode de transport principal	Composantes (codes de l'Enquête socioéconomique)
Modes lents (marche, vélo)	1, 2
Train	17, 18, 19, 20, 21, 22, 29
Transport organisé par l'employeur	5, 6, 7, 11, 15, 26
Voiture (conducteur)	8, 9, 10, 27
Voiture (passager)	12, 13, 14, 16, 28
Bus/tram/metro	23, 24, 25
Vélocycle/moto	3,4

Source: BFP

La vérification des données de l'Enquête socioéconomique s'est déroulée en deux étapes.

Étape 1: contrôle de qualité des distances

Avant de procéder aux vérifications, les hypothèses suivantes ont été formulées:

- La distance maximum d'un déplacement dans un sens à pied est de 6 km. Si la distance moyenne calculée est supérieure à 6 km, le nombre de déplacements est réduit à 0 ;
- La zone d'attraction d'un déplacement à pied ou à bicyclette doit être la zone de départ ou une zone limitrophe. Dans tous les autres cas, le nombre de déplacements est fixé à 0 ;
- Seules les données relatives à des paires de zones accumulant moins de 500 déplacements par semaine sont vérifiées au niveau de la distance rapportée. Les données relatives à des paires de zones accumulant plus de 500 déplacements par semaine sont supposées correctes.

En ce qui concerne les autres paires de zones et modes de transport, la distance moyenne du déplacement par mode est comparée, d'une part, à la distance du déplacement effectué par le même mode, dans la direction opposée (par exemple la distance de déplacements en voiture de Bruxelles à Anvers est comparée à la distance de déplacements en voiture d'Anvers à Bruxelles), et d'autre part, à la distance entre les centroïdes des zones, telle que calculée par un système d'information géographique (SIG). Les observations sont considérées comme équivoques lorsque la différence entre l'observation et la distance théorique est supérieure à 60% et lorsque la différence entre l'observation et la distance des déplacements dans la direction opposée est supérieure à 70%. Au total, 620 observations ont été considérées comme équivoques (sur 10 650 déplacements, soit un pourcentage de 0,07%). Les distances de ces observations ont été vérifiées une par une. Dans certains cas, la distance rapportée est pratiquement le double de la distance du déplacement dans la direction opposée ou de la valeur théorique. D'aucuns ont dû rapporter la distance de l'aller et du retour (alors que seule la distance de l'aller était demandée). Dans ces cas de figure, la distance a été divisée par deux.

Pour les paires de zones pour lesquelles aucun déplacement domicile-travail n'est rapporté, la distance d'un déplacement est considérée égale à la distance entre les centroïdes des zones.

Étape 2: Contrôle de qualité des durées de déplacement

La vitesse du déplacement est calculée sur la base des durées de déplacement rapportées et des distances vérifiées. Si cette vitesse excède un maximum, différent pour chaque mode de transport, les données sont adaptées. Nous partons de l'hypothèse que le temps de déplacement rapporté est correct et adaptons la distance en prenant en considération la vitesse maximum. Néanmoins, si la distance résultante n'est pas réaliste (moins de la moitié de la distance théorique ou différence de plus de 50 km par rapport à la distance théorique), le temps rapporté

est corrigé. Si les résultats sont encore peu réalistes, le nombre de déplacements pour la paire de zones et le mode concernés sont fixés à zéro. Les vitesses maximums prises comme référence sont : 4 km/h pour la marche, 30 km/h pour le vélo, 60 km/h pour le bus/tram/métro et 120 km/h pour les autres modes.

S'agissant des paires de zones pour lesquelles aucun déplacement domicile-travail n'est rapporté, la vitesse de chaque mode est considérée comme égale à la vitesse moyenne de ce mode.

Annexe E : Les coûts du transport

E.1. Les coûts monétaires du transport

E.1.1. Les coûts monétaires du transport par voiture

Les coûts monétaires des déplacements effectués en voiture peuvent être divisés en trois catégories : les coûts d'achat, les coûts annuels d'utilisation ainsi que les coûts variables en fonction du nombre de kilomètres parcourus. Tous les coûts ci-dessous sont exprimés en véhicule-kilomètre (vkm).

E.1.1.1. Les coûts d'achat

Le coût d'achat égale la somme du prix d'achat hors taxes, de la TVA sur le prix d'achat et des taxes d'immatriculation. Ces différentes composantes sont déterminées pour le stock de véhicules de 2000 en distinguant l'année de première immatriculation. Une annuité est ensuite calculée sur base de ce coût total. Celle-ci sera enfin divisée par le kilométrage annuel moyen par véhicule pour obtenir un coût d'achat par vkm.

Prix d'achat (hors taxes)

L'INS fournit des données annuelles sur l'immatriculation de nouveaux véhicules en fonction de catégorie de prix⁷⁷. Ces données nous permettent de calculer un prix d'achat moyen (hors taxes) pour chaque année tel que repris dans le Tableau E1. La répartition par type de carburant est basée sur les données du modèle TREMOVE (Knockaert et Proost, 2004) qui fournit des prix de voitures en 2000 selon la classe de cylindrée et le type de carburant. Combiné avec les données sur les parts des différents types de véhicules dans les ventes de véhicules neufs en 2000, nous pouvons déduire qu'une voiture diesel et une voiture LPG sont en moyenne respectivement 28% et 11% plus cher qu'une voiture essence.

Tableau E1. Prix d'achat moyen (hors taxes)(€ - prix de 2000)

	Année de première immatriculation		
	1991	1995	2000
Voiture	13498	14798	15438
Essence	12432	13094	13345
Diesel	15888	16734	17055
LPG	13795	14529	14808

Source: BFP

La TVA sur l'achat de voitures

Le taux de TVA appliqué sur l'achat de véhicules dépend de la nature de l'acheteur. Nous faisons l'hypothèse simplificatrice suivante : les administrations publiques ainsi que les personnes physiques sont soumises au taux plein alors que les personnes morales sont soumises à la moitié du taux plein. En 2000, la part de cette dernière catégorie était de 12% pour les véhicules à essence, de 20% pour les véhicules diesel et de 8% pour les véhicules LPG. Nous

⁷⁷ INS (2002b), Tableau 6.

ne prenons pas en compte la TVA sur les véhicules d'occasion. Nous utilisons donc les taux de TVA repris dans le Tableau E2.

Tableau E2. Taux de TVA sur l'achat de voitures

	Année de première immatriculation				
	1991	1992	1993	1994-1995	1996-2000
PP & AP	25,00%	20,88%	19,50%	20,50%	21,00%
PM	12,50%	10,44%	9,75%	10,25%	10,50%

Note: PP = personnes physiques, PM = personnes morales, AP = administrations publiques

Taxes d'immatriculation et de mise en circulation

Étant donné que nous ne disposons pas des informations nécessaires à l'établissement des taxes d'immatriculation et de mise en circulation payées pour chaque type de véhicule, ces taxes seront estimées. Cette estimation est effectuée sur base des revenus annuels totaux obtenus par ces taxes ainsi que du nombre d'immatriculations pour ces mêmes années. Les revenus totaux de ces taxes incluent également les taxes d'immatriculation et de mise en circulation des véhicules d'occasion. Nous faisons l'hypothèse que ces paiements ne concernent que les véhicules neufs.

Tableau E3. Taxes d'immatriculation moyennes (y inclus taxes de mise en circulation (€ - prix de 2000))

	Année de première immatriculation		
	1991	1995	2000
Voiture essence	120	447	318
Voiture diesel	166	618	440
Voiture LPG	183	682	486

Source: BFP

Coût moyen d'achat par 100 vkm

Afin d'obtenir le coût moyen d'achat par 100 vkm nous transformons, dans un premier temps, les coûts d'achat en coûts annuels. L'annuité relative à ce coût est calculée de la manière suivante :

$$A = \frac{V_0 i (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

A étant l'annuité, V_0 la valeur au temps 0 lorsque le montant A est payé pendant n années et i le taux d'intérêt réel.

Les valeurs des paramètres définis ci-dessus sont les suivants : $n = 10$, $i = 4,3\%$, ce qui correspond au taux d'intérêt réel des bons d'état à plus de 5 ans en 2000.

Ensuite, sur base des données de la DIV concernant la composition du parc automobile en 2000, nous déterminons le nombre de véhicules selon l'âge, le type de carburant, ainsi que le type de propriétaire. Ces informations sont donc utilisées pour calculer les coûts annuels d'un véhicule moyen par type de véhicule en 2000.

Tableau E4. Coût d'achat annuel moyen (€/véhicule/an – 2000)

	Prix d'achat (hors taxes)	TVA sur le prix d'achat	Taxes d'immatriculation	Total
Voiture moyenne	1306	268	42	1616
Essence	1128	228	35	1391
Diesel	1732	325	58	2115
LPG	1286	262	50	1599

Source: BFP

Pour obtenir le coût par 100 vkm il nous reste encore à connaître le kilométrage moyen par type de carburant. Cette information est présentée dans le Tableau E5 et provient de TML (De Ceuster (2004, p. 38)).

Tableau E5. Kilométrage annuel moyen en 2000

	km/an
Voiture moyenne	17615
Essence	13170
Diesel	23772
LPG	23549

Source: TML (De Ceuster (2004))

Le Tableau E6 nous donne donc le coût d'achat moyen par 100 vkm pour les trois types de carburant.

Tableau E6. Coût d'achat moyen par 100 vkm (€/100 vkm – prix de 2000)

	Prix d'achat (hors taxes)	Taxes	Total	Part des taxes
Voiture moyenne	7,81	1,77	9,58	18%
Essence	8,57	1,99	10,56	19%
Diesel	7,29	1,61	8,90	18%
LPG	5,46	1,33	6,79	20%

Source: BFP

E.1.1.2. Les coûts annuels

Les coûts annuels sont composés de la taxe de circulation, de la taxe compensatoire des accises, de la redevance radio, des frais d'assurance et des frais de contrôle technique.

La taxe de circulation et la taxe compensatoire des accises

Le calcul de la taxe de circulation et de la taxe compensatoire des accises est basé sur des données du SPF Finances. La taxe compensatoire des accises est due seulement par les voitures diesel.

Tableau E7. Taxes de circulation et taxes compensatoires des accises en 2000 (€/véhicule/an)

	Taxe de circulation	Taxe compensatoire	Total
Voiture essence	182		182
Voiture diesel	262	104	367
Voiture LPG	423		423

Source: BFP

La redevance radio

En 2000 la redevance radio était toujours d'application dans les trois régions. Le revenu total de la redevance radio s'élevait à 86,8 millions d'euro en 2000. Nous obtenons la taxe par véhicule en divisant le revenu total par le nombre total de véhicule soumis à cette taxe. Nous obtenons une redevance radio de 15,87 euro par véhicule.

Les frais d'assurance

La Commission Bancaire, Financière et des Assurances (CBFA) fournit les primes d'assurance payées pour différents types de véhicules. En plus de ces montants, nous prenons également en compte la TVA sur les primes d'assurance ainsi que d'autres taxes qui sont prélevées sur ces mêmes primes.

Les frais relatifs au contrôle technique

Les frais relatifs au contrôle technique sont basés sur les informations fournies par le GOCA (Groupement des sociétés agréées de contrôle automobile et du permis de conduire). Le Tableau E8 reprend ces informations.

Tableau E8. Coûts moyens de l'inspection automobile en 2000 (€/véhicule/an)

	Inspection automobile (hors taxes)	TVA	Inspection automobile (taxes incl.)
Voiture essence	18,72	3,79	22,51
Voiture diesel	21,51	4,09	25,60
Voiture LPG	29,94	6,09	36,03

Source: BFP

Les coûts annuels par 100 vkm

Le Tableau E9 donne un aperçu du coût annuel pour 100 vkm en 2000.

Tableau E9. Coûts annuels pour 100 vkm (€/100 vkm – 2000)

	Taxes annuelles				Coûts annuels (hors taxes)		Total	Part des taxes
	Taxes de circulation et de compensation accises	Redevance radio	Assurance	Contrôle technique	Assurance	Contrôle technique		
Voiture moyenne	1,48	0,09	1,20	0,02	2,66	0,11	5,57	50%
Voiture essence	1,38	0,12	1,63	0,03	3,56	0,14	6,86	46%
Voiture diesel	1,54	0,07	0,88	0,02	1,97	0,09	4,57	55%
Voiture LPG	1,80	0,07	0,91	0,03	1,99	0,13	4,92	57%

Source: BFP

E.1.1.3. Les coûts variables

Les coûts variables se composent des coûts de carburant et des coûts d'entretien.

Les coûts de carburant

Les prix des carburants par litre, tel que repris dans le Tableau E10, sont composés des éléments suivants: le prix du producteur, les accises et la TVA qui est payée sur la somme du prix du producteur et des accises.

Tableau E10. Les prix des carburants (2000)

	Essence	Diesel	LPG
Prix du producteur (€/l)	0,38	0,38	0,33
Accises (€/l)	0,51	0,29	0,00
TVA (%)	21%	21%	21%
Prix total hors TVA (€/l)	0,89	0,67	0,33
Prix total TVA incl, (€/l)	1,08	0,81	0,39

Source: IEA (2002), SPF Economie

La consommation de carburant par vkm en 2000 provient du modèle TEMAT du VITO:

Tableau E11. La consommation moyenne de carburant (litre/100 vkm)(2000)

	litre/100 vkm
Voiture essence	8,83
Voiture diesel	7,14
Voiture LPG	11,1

Source: VITO, modèle TEMAT

Les coûts d'entretien

La dépense totale des ménages en terme d'entretien, d'huile, de pièces détachées et d'accessoires s'élève en 2000 à 4779,08 millions d'euro (Vuidar, 2004). Ce montant est divisé par le nombre de véhicules en circulation la même année.

Les coûts variables par 100 vkm

Le Tableau E12 donne un aperçu des coûts variables par 100 vkm.

Tableau E12. Les coûts variables par 100 vkm (€/100 vkm – 2000)

	Carburant (hors taxes)	Entretien (hors taxes)	Taxes sur carburant	Taxes sur entretien	Total	Part des taxes
Voiture moyenne	3,02	5,35	4,28	1,12	13,77	39%
Voiture essence	3,37	6,42	6,07	1,35	17,20	43%
Voiture diesel	2,71	4,54	2,98	0,95	11,19	35%
Voiture LPG	3,62	3,98	0,74	0,84	9,18	17%

Source: BFP

Le Tableau E13 fournit un résumé des coûts monétaires du transport par voiture particulière pour 100 vkm en 2000.

Tableau E13. Les coûts monétaires de la voiture par 100 vkm (€/100 vkm – 2000)

	€/100 vkm				Part des taxes
	Coûts d'achat*	Coûts annuels*	Coûts variables*	Coûts totaux	
Voiture moyenne	9,58 (33%)	5,57 (19%)	13,77 (48%)	28,91	34%
Voiture essence	10,56 (30%)	6,86 (20%)	17,20 (50%)	34,63	36%
Voiture diesel	8,90 (36%)	4,57 (19%)	11,19 (45%)	24,66	33%
Voiture LPG	6,79 (33%)	4,92 (24%)	9,18 (44%)	20,89	27%

* Les chiffres entre parenthèses donnent la part du coût dans le coût total par 100 vkm

Source: BFP

E.1.2. Les coûts monétaires des transports publics

Afin de déterminer le coût monétaire des transports publics par pkm, nous faisons la distinction entre, d'une part, le bus/tram/métro et, d'autre part, le transport par chemin de fer.

E.1.2.1. Bus/tram/métro

Le coût monétaire du transport par bus/tram/métro est déterminé sur base des rapports annuels des trois compagnies régionales de transport en commun : la STIB, De Lijn et la TEC. Etant donné que nous ne disposons pas d'informations concernant la déductibilité fiscale de ces coûts, ni la part de remboursement de l'employeur, nous n'intégrons pas ces réductions dans le

calcul des coûts de transport par bus/tram/mé debate. Le taux de TVA pour le transport par bus/tram/mé debate s'élève à 6%.

La STIB

La STIB (2000) présente les informations sur ses recettes et le nombre de passagers par catégories de ticket de transport. Le Tableau E14 reprend ces informations.

Tableau E14. Le prix du transport par bus/tram/mé debate selon la STIB (2000)⁴

	Recettes totales (1000€)	Passagers (milliers)	Prix (€/passager) (hors TVA)
- Tickets, cartes, transport spécial	60317	62101	0,97
- Abonnements scolaires	7656	55508	0,14
- Autres abonnements	33582	104641	0,32
- Transports pour la Poste et Belgacom	346	965	0,36
Total	101901	223215	0,46

Source: STIB (2000)

Nous faisons l'hypothèse que les migrants alternants ont fait le choix de la formule la plus avantageuse pour eux, à savoir l'abonnement. Nous prendrons donc en compte un coût de 0,32 euro par trajet.

De Lijn

Le rapport annuel de De Lijn (2000) fournit le même type d'information.

Tableau E15. Le prix du transport par bus/tram/mé debate selon De Lijn (2000)

	Recettes totales (1000€)	Passagers (milliers)	Prix (€/passager) (hors TVA)
- Tickets, cartes, transport spécial et autres recettes	71498	99152	0,72
- Abonnements scolaires	20172	79945	0,25
- Autres abonnements	18078	61313	0,29
Total	109749	240410	0,46

Source: De Lijn (2000)

Les TEC

Le rapport annuel des TEC (2000) nous livre également les informations nécessaires au calcul du coût de transport par bus/tram/mé debate en Wallonie. Comme pour la Flandre, le coût moyen d'un trajet pour les migrants alternants se monte à 0,29 euro.

Tableau E16. Le prix du transport par bus/tram/métro selon la TEC (2000)

	Recettes totales (1000€)	Passagers (milliers)	Prix (€/passager) (hors TVA)
- Tickets, cartes, transport spécial et autres recettes	42224	51800	0,82
- Abonnements	26495	92476	0,29
Total	68718	144276	0,48

Source: Ministère de l'équipement et du transport (2000) et communication personnelle avec Mr. Favay (TEC).

Le rail

L'annuaire statistique de la SNCB nous fournit les recettes ainsi que le nombre de pkm pour le transport passagers domestique et international, par type de titre de transport. Ces données sont présentées dans le Tableau E17.

Tableau E17. Le coût monétaire du transport passagers par rail (2000)

	Recettes totales (1000€)	Passager kilomètre	Prix (€/pkm) (hors TVA)
Transport passagers domestique	330210	6317166	0,05
- tickets	187903	3021077	0,062
- Abonnements scolaires	22978	628452	0,037
- Autres abonnements	119329	2667637	0,045
Transport passagers international	156025	1437496	0,109

Source: SNCB (2000)

Comme pour le transport par bus/tram/métro nous ne prenons pas en compte la part payée par l'employeur. Le coût de transport par rail pour les navetteurs s'élève à 0,045 euro par pkm. Le taux de TVA s'élève à 6%.

E.1.3. Les coûts monétaires des modes lents

Nous faisons l'hypothèse que pour les modes lents (la marche et le vélo) le coût monétaire est nul.

E.2. Les coûts temps des modes de transports considérés dans l'Enquête socioéconomique

Afin de calculer les coûts temps des 29 combinaisons de transport envisagées dans l'Enquête socioéconomique les hypothèses suivantes ont été formulées :

- 1) La valeur du temps des modes lents et moto est égale à la moyenne de la valeur du temps de la voiture, des bus/tram/métro et du rail.
- 2) La valeur du temps du transport organisé par l'employeur est égale à la valeur du temps du mode bus/ tram/métro.
- 3) Les valeurs présentées se rapportent aux durées attendues des trajets à bord d'un véhicule. Certaines études montrent que les variations dans les temps de marche et

d'attente sont valorisées à un degré supérieur par rapport aux variations dans les temps passés à bord d'un véhicule. Partant des travaux de Nellthorp et al. (2001), la valeur du temps à bord des véhicules est multipliée par un facteur de 1,6 afin d'obtenir la valeur du temps d'attente et de marche.

- 4) Pour les déplacements réalisés par plus d'un mode de transport (par exemple vélo + train), une hypothèse doit être formulée pour la distance et la vitesse relative au second mode de transport. Les hypothèses de vitesse sont les suivantes : 4 km/h à pied, 12,5 km/h en vélo, 35 km/h pour les déplacements sur une distance plus longue. Pour les distances réalisées avec le deuxième mode, les hypothèses sont : 750 m en vélo, 500 m en bus/tram/métro et 4 km en voiture.
- 5) Pour les déplacements effectués en voiture ou par transport organisé par l'employeur, la distance moyenne effectuée à pied par rapport au lieu de départ est de 100 m.

Prenons pour exemple le coût temps de la combinaison train et voiture/conducteur (mode 21). Les hypothèses suivantes sont formulées:

- a) Premièrement, le temps nécessaire pour marcher jusqu'à la voiture doit être calculé. La distance moyenne est de 100 mètres (hypothèse 5) et est effectuée à une vitesse 4 km/h (hypothèse 4). La valeur du temps est égale à la valeur du temps de la voiture, multipliée par un facteur de 1,6 (hypothèse 3).
- b) Ensuite, le temps parcouru en voiture (second mode) doit être calculé. L'hypothèse retenue est une distance de 4 km (hypothèse 5) et une vitesse de 35 km/h (hypothèse 4). Le temps requis pour le déplacement est multiplié par la valeur du temps de la voiture.
- c) Le temps restant (= temps calculé sur la base de l'Enquête socioéconomique – temps de marche – temps en voiture) est valorisé à la valeur du temps du train.

Annexe F: Evolution des emissions selon les différents scenarios.

F.1. Scénario A0

F.1.1. Demande de transport

Tableau F1. Évolution de la demande de transport dans le scénario A0, ventilée par mode de transport – voyageurs-kilomètres (en millions)

Modes de transport	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
BTM	3399	3034	2945	2858	2800	2767	2754
Voiture – conducteur	59383	62020	63946	65408	66744	67899	69184
Voiture – passager	21697	22388	22457	22329	22293	22335	22442
Train	7253	7498	7690	7835	7939	7927	7942
Modes lents	4095	4104	4130	4135	4135	4134	4144
Total	95827	99045	101168	102564	103911	105062	106467

Source : GRT, calculs BFP

F.1.2. Émissions directes

Tableau F2. Évolution des émissions directes liées à la voiture dans le scénario A0 - tonnes

Polluants	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
CO	303987	213324	146339	88821	66664	65884	67343
CO ₂	11280344	11089507	10450959	9672925	9237285	9308152	9662036
N ₂ O	1474	1803	1838	1811	1781	1764	1767
NO _x	48607	36335	26509	19427	18101	17913	17982
PM	3338	1987	1233	799	759	730	716
SO ₂	1858	357	66	61	58	58	61
COV	38961	16747	6158	3069	2727	2611	2569

Source : calculs BFP

Tableau F3. Évolution des émissions directes liées aux modes BTM dans le scénario A0 – tonnes

Polluants	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
CO	372	315	296	285	279	276	274
CO ₂	101786	88605	83850	80644	77860	76390	75416
N ₂ O	4	3	3	3	3	3	3
NO _x	1291	974	694	460	336	274	254
PM	52	37	20	12	7	6	5
SO ₂	23	3	1	1	1	1	1
COV	171	132	127	124	125	126	125

Source : calculs BFP

Tableau F4. Évolution des émissions directes liées au rail dans le scénario A0 - tonnes

Polluants	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
CO	143	203	208	212	215	215	215
CO ₂	19834	28279	29000	29549	29941	29893	29951
N ₂ O	3	4	4	4	4	4	4
NO _x	336	479	491	500	507	506	507
PM	16	23	24	25	25	25	25
SO ₂	22	1	1	1	1	1	1
COV	52	74	76	77	78	78	78

Source : calculs BFP

F.1.3. Émissions indirectes

Tableau F5. Évolution des émissions indirectes liées aux modes BTM dans le scénario A0 - tonnes

Polluants	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
CO ₂	30913	27882	27593	26376	28528	42913	50508
NO _x	47	43	42	38	35	44	49
SO ₂	40	34	32	21	8	5	5

Source : calculs BFP

Tableau F6. Évolution des émissions indirectes liées rail dans le scénario A0 - tonnes

Polluants	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
CO ₂	273601	244135	255805	256765	287267	436602	517212
NO _x	412	374	391	367	350	446	499
SO ₂	351	294	298	206	81	48	47

Source : calculs BFP

F.2. Scénario A1

F.2.1. Demande de transport

Tableau F7. Évolution de la demande de transport dans le scénario A1, ventilée par mode de transport – voyageurs-kilomètres (en millions)

Modes de transport	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
BTM	3399	3126	3121	3105	3115	3146	3188
Voiture – conducteur	59383	62735	65301	67301	69163	70837	72592
Voiture – passager	21697	22182	22071	21790	21613	21523	21526
Train	7253	7433	7565	7661	7716	7653	7622
Modes lents	4095	4112	4143	4154	4161	4166	4183
Total	95827	99588	102201	104012	105767	107326	109112

Source : GRT, calculs BFP

F.2.2. Émissions directes

Tableau F8. Évolution des émissions directes liées à la voiture dans le scénario A1 - tonnes

Polluants	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
CO	303987	214611	147979	90192	67966	67436	69174
CO ₂	11280344	11156432	10568079	9822292	9417660	9527469	9924791
N ₂ O	1474	1814	1858	1839	1816	1806	1815
NO _x	48607	36554	26806	19727	18454	18335	18471
PM	3338	1999	1247	811	774	747	735
SO ₂	1858	360	67	62	59	59	62
COV	38961	16849	6227	3116	2780	2673	2639

Source : calculs BFP

Tableau F9. Évolution des émissions directes liées aux modes BTM dans le scénario A1 - tonnes

Polluants	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
CO	372	325	314	310	310	314	317
CO ₂	101786	91305	88857	87615	86612	86868	87308
N ₂ O	4	4	4	4	4	4	4
NO _x	1291	1004	735	500	373	311	294
PM	52	38	21	13	8	7	6
SO ₂	23	3	1	1	1	1	1
COV	171	136	134	135	139	143	145

Source : calculs BFP

Tableau F10. Évolution des émissions directes liées au rail dans le scénario A0 - tonnes

Polluants	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
CO	143	202	205	208	209	207	207
CO ₂	19834	28033	28531	28892	29100	28862	28745
N ₂ O	3	4	4	4	4	4	4
NO _x	336	475	483	489	493	489	487
PM	16	23	24	24	24	24	24
SO ₂	22	1	1	1	1	1	1
COV	52	73	75	76	76	76	75

Source : calculs BFP

F.2.3. Émissions indirectes

Tableau F11. Évolution des émissions indirectes liées aux modes BTM dans le scénario A1 - tonnes

Polluants	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
CO ₂	30913	28731	29241	28656	31735	48799	58473
NO _x	47	44	45	41	39	50	56
SO ₂	40	35	34	23	9	5	5

Source : calculs BFP

Tableau F12. Évolution des émissions indirectes liées au rail dans le scénario A1 - tonnes

Polluants	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
CO ₂	273601	242013	251664	251056	279196	421542	496386
NO _x	412	371	384	359	340	430	478
SO ₂	351	292	293	201	79	47	45

Source : calculs BFP

F.3. Scénario B

F.3.1. Demande de transport

Tableau F13. Évolution de la demande de transport dans le scénario B, ventilée par mode de transport – voyageurs-kilomètres (en millions)

Modes de transport	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
BTM	3399	3034	2958	2881	2831	2805	2800
Voiture – conducteur	59383	61919	63749	65152	66451	67571	68836
Voiture – passager	21697	22354	22408	22270	22229	22266	22368
Train	7253	7535	7725	7872	7976	7962	7976
Modes lents	4095	4098	4126	4132	4133	4133	4142
Total	95827	98940	100965	102307	103620	104736	106123

Source : GRT, calculs BFP

F.3.2. Émissions directes

Tableau F14. Évolution des émissions directes liées à la voiture dans le scénario B - tonnes

Polluants	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
CO	303987	212983	145922	88503	66397	65594	67033
CO ₂	11280344	11071757	10421170	9638283	9200251	9267142	9617527
N ₂ O	1474	1800	1833	1804	1774	1756	1759
NO _x	48607	36277	26433	19358	18028	17834	17899
PM	3338	1983	1230	796	756	726	713
SO ₂	1858	357	66	61	57	58	60
COV	38961	16721	6140	3058	2716	2600	2557

Source : calculs BFP

Tableau F15. Évolution des émissions directes liées aux modes BTM dans le scénario B - tonnes

Polluants	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
CO	372	315	297	287	282	280	278
CO ₂	101786	88615	84214	81282	78716	77452	76673
N ₂ O	4	3	3	3	3	3	3
NO _x	1291	974	697	464	339	278	259
PM	52	37	20	12	8	6	5
SO ₂	23	3	1	1	1	1	1
COV	171	132	127	125	126	127	127

Source : calculs BFP

Tableau F16. Évolution des émissions directes liées au rail dans le scénario B - tonnes

Polluants	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
CO	143	204	209	213	216	216	216
CO ₂	19834	28418	29132	29687	30081	30026	30080
N ₂ O	3	4	4	4	4	4	4
NO _x	336	481	493	503	509	508	509
PM	16	24	24	25	25	25	25
SO ₂	22	1	1	1	1	1	1
COV	52	74	76	78	79	79	79

Source : calculs BFP

F.3.3. Émissions indirectes

Tableau F17. Évolution des émissions indirectes liées aux modes BTM dans le scénario B - tonnes

Polluants	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
CO ₂	30913	27885	27713	26585	28842	43510	51350
NO _x	47	43	42	38	35	44	49
SO ₂	40	34	32	21	8	5	5

Source : calculs BFP

Tableau F18. Évolution des émissions indirectes liées au rail dans le scénario B - tonnes

Polluants	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
CO ₂	273601	245336	256970	257966	288606	438539	519449
NO _x	412	376	392	369	352	448	501
SO ₂	351	296	299	207	81	49	47

Source : calculs BFP