

WORKING PAPERS

**Validation d'un modèle
d'accessibilité par
recoupement de données
multi-sources. Application
aux communes de Belgique**

Sylvain KLEIN
Samuel CARPENTIER
Philippe GERBER
Hichem OMRANI

CEPS/INSTEAD Working Papers are intended to make research findings available and stimulate comments and discussion. They have been approved for circulation but are to be considered preliminary. They have not been edited and have not been subject to any peer review.

The views expressed in this paper are those of the author(s) and do not necessarily reflect views of CEPS/INSTEAD. Errors and omissions are the sole responsibility of the author(s).

Validation d'un modèle d'accessibilité par recoupement de données multi-sources. Application aux communes de Belgique^{*†}

Sylvain Klein, Samuel Carpentier, Philippe Gerber, Hichem Omrani
GEODE, CEPS/INSTEAD, Luxembourg

mars 2011

Résumé

Dans le cadre du projet de recherche MOBLOC (Mobilities and Long Term Location Choice in Belgium), l'exploration à un niveau d'agrégation communal des interactions entre les mobilités résidentielle et quotidienne a nécessité la construction d'un modèle d'accessibilité routière à l'échelle de la Belgique. Dans un premier temps, un modèle de trafic en heures creuses affectant les flux selon un mode tout-ou-rien, est comparé à une base d'observations (MOBEL) ainsi qu'à deux modélisations (Google Maps et un modèle développé à l'UCL par Vandenbulke et *al.*, 2009). Le modèle routier aux heures de pointe du matin procède à l'affectation d'une matrice de demande de déplacement domicile-travail et domicile-études sur la base de la recherche d'un équilibre utilisateur. En complément de l'analyse cartographique, différentes statistiques de qualité d'ajustement sont mises à contribution pour le calibrage et la validation du modèle d'accessibilité MOBLOC.

Mots-clés: accessibilité routière, heures de pointe, heures creuses, Belgique, modélisation

* Cette étude a été conduite dans le cadre du projet MOBLOC du programme SSD la Science pour un développement durable de la Politique scientifique fédérale (Belgique) (SD/TA/04A) et cofinancé par le Fonds National de la Recherche (Luxembourg) (FNR/SSD/06/07).

† Les auteurs tiennent à remercier Grégory Vandenbulcke pour la mise à disposition des résultats issus de ses travaux dans le cadre du projet « Accessibility indicators to places and transports » cofinancé par le SPF Mobilité et Transport ainsi que par la Politique Scientifique fédérale (AP/10/02A et AP/10/02B).

1 Contexte et étapes de la recherche

1.1 Le projet MOBLOC

Depuis plusieurs décennies, la croissance urbaine, et notamment la périurbanisation, a favorisé une utilisation massive de l'automobile (Wiel, 1999) conduisant, dans les zones périphériques notamment, à une véritable dépendance automobile (Goodwin, 1995). Ainsi, à l'instar de nombreux pays européens, la Belgique connaît une forte périurbanisation (Brück *et al.*, 2001 ; Halleux *et al.*, 2002) associée à un usage intensif de la voiture privée (Hubert et Toint, 2002).

Dans ce contexte, le projet MOBLOC (Mobilities and Long Term Location Choice in Belgium) vise à modéliser et simuler les interactions entre les évolutions à long terme de la société (croissance démographique, choix de localisation des ménages) et les comportements de mobilité quotidienne (Cornélis *et al.*, 2009). Pour ce faire, plusieurs modèles sont développés pour analyser l'impact de ces évolutions sur l'accessibilité et, en retour, sur la croissance urbaine (Figure 1). Ainsi, un modèle de migration résidentielle – articulant propension à migrer et choix de localisation – est couplé à un modèle de trafic – lui-même décomposé en une estimation des flux intercommunaux (modèle gravitaire), une répartition modale et une affectation des flux sur le réseau (modèle d'accessibilité en heures creuses et en heures pleines du matin). La construction des modèles, ainsi que leur couplage, est réalisé à l'échelle des 589 communes belges.

La question à laquelle nous nous intéressons dans cet article est celle de la mise en place du modèle d'accessibilité routière (Figure 1, étape 4 des modèles de transport) à l'échelle de la Belgique et de sa validation. Sachant qu'à l'échelle de toute la Belgique, nous ne disposons pas de l'ensemble des paramètres nécessaires au calibrage et à la validation du modèle d'accessibilité en heures creuses et en heures pleines, nous appliquons une méthode de validation basée sur différentes statistiques permettant de comparer notre modèle avec des observations d'une part, ainsi qu'avec d'autres modélisations d'autre part.

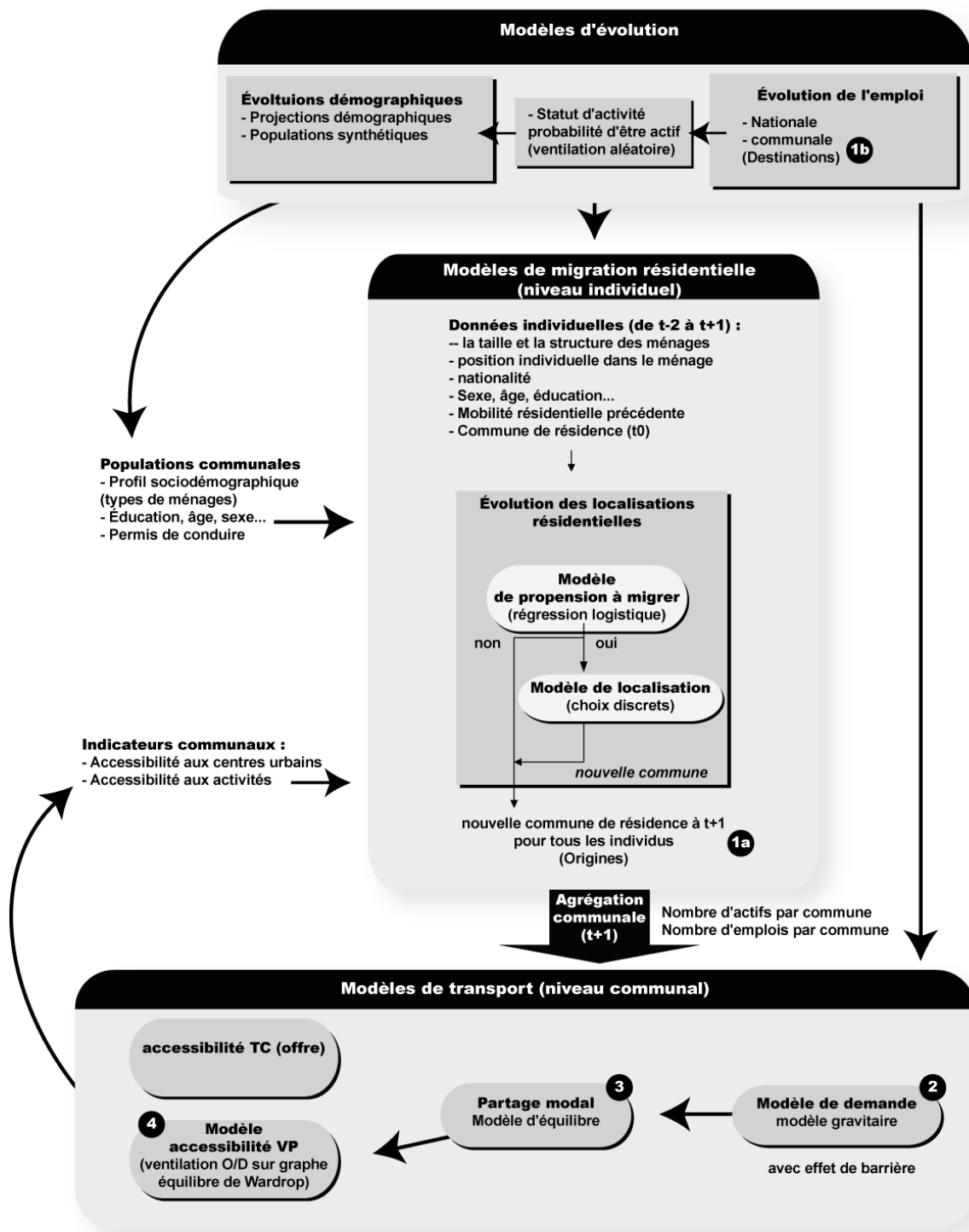


Figure 1 : Interactions entre les modèles du projet MOBLOC

1.2 Démarche méthodologique

Plusieurs étapes ont été mises en œuvre (Figure 2). La modélisation étant effectuée pour l'ensemble du territoire belge, une première étape consiste à choisir, pour chacune des 589 communes, un point « représentatif ». Si le choix d'un centroïde communal unique constitue sans doute une approximation, cette étape s'est révélée nécessaire, à la fois pour des raisons de cohérence méthodologique (le couplage des modèles de MOBLOC s'effectue à l'échelle communale) et des raisons pratiques, liées au niveau d'agrégation pour lequel les données sont disponibles. En second lieu, il s'agit de mettre en place la représentation mathématique du réseau routier sous forme d'un graphe orienté $G = (V, E)$ où :

V est l'ensemble des sommets représentant les intersections,

E est l'ensemble des arcs représentant un tronçon de route aux propriétés homogènes.

Il s'agit ensuite de qualifier ces arcs, notamment par leur longueur, leur vitesse en flux libre et leur capacité. Ces attributs n'étant, la plupart du temps, pas disponibles à l'échelle du pays, nous recourons à une typologie établie grâce au recouplement des couches SIG (Système d'Information Géographique) de l'occupation du sol avec le réseau digitalisé.

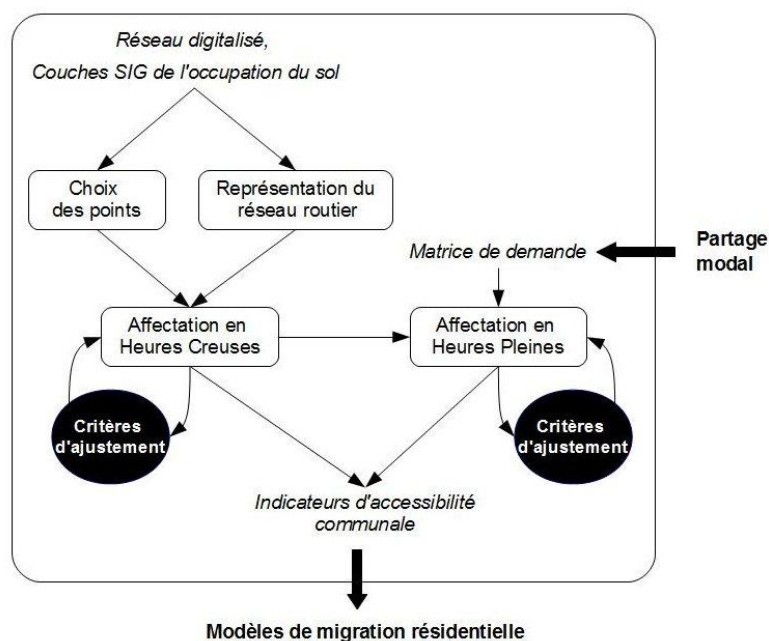


Figure 2 : Étapes méthodologiques de modélisation de l'accessibilité par voiture privée (VP)

Dans un deuxième temps, deux modélisations de l'accessibilité routière sont mises en œuvre, l'une concernant la période en heures creuses (HC), l'autre la période de pointe du matin (HP). Le modèle en heure de pointe fait intervenir une matrice de demande de déplacements, à savoir une matrice d'échanges origine/destination (O/D) des actifs et des étudiants utilisant la voiture (comme conducteur principal) pour leur trajet domicile/travail ou domicile/école. Celle-ci permet d'inclure des résultats des nouvelles localisations du modèle de migration résidentielle MOBLOC. Notons que, si dans le cadre du couplage des modèles de MOBLOC, la demande HP pour la première itération à t_0 est issue de l'Enquête Socio-économique de L'INS (2001).

Les résultats des deux modèles sont ensuite confrontés avec une base d'observations provenant de l'enquête MOBEL (1999) et comparés avec d'autres modèles disponibles pour la Belgique. Grâce aux statistiques mesurant l'ajustement de ce modèle par rapport aux valeurs observées, il est alors possible d'en calibrer les paramètres et de le situer par rapport aux autres modèles.

Une fois les deux modèles (heures creuses et heures de pointe) validés, il est dès lors possible de procéder au calcul des indicateurs communaux à introduire dans le modèle de migration résidentielle pour modéliser ensuite l'impact de la mobilité quotidienne sur les choix résidentiels. Le postulat qui sous-tend cette démarche stipule que, lors d'un choix résidentiel, les actifs tiennent compte de leur trajet domicile/travail pour garantir la faisabilité de leur programme d'activité (en contenant leur budget-temps de déplacement dans des limites acceptables, soit une heure en moyenne selon la conjecture de Zahavi, 1979)¹. La principale contrainte qui influence ce choix est alors le temps d'accès aux heures de pointe, un jour de semaine.

2 Enquêtes et modèles d'accessibilité pour la Belgique

Trois sources complémentaires ont été exploitées au cours de la mise en place du modèle d'accessibilité ainsi que pour sa validation. L'enquête MOBEL, le modèle internet Google Maps et enfin le modèle développé à l'UCL par G. Vandenbulcke et al. (2009).

¹ Notons cependant que cette conjecture postulant un budget-temps moyen constant fait l'objet d'un débat (Joly I., 2003).

2.1 Enquête MOBEL

La base d'observation disponible est issue de l'enquête nationale réalisée en 1999 sur la mobilité des personnes en Belgique dans le cadre du projet MOBEL (Hubert et Toint, 2001). Nous disposons ainsi, à l'échelle du pays, de données de temps de parcours pour un jour ouvrable moyen hors vacances scolaires ainsi que les heures de départ, ce qui correspond à 10 036 observations brutes. Cette base servira de référence pour les comparaisons en heures de pointe du matin et en heures creuses pour une journée type.

En regroupant les observations restantes en période creuse (soit en dehors des deux périodes de pointe entre 7 et 9h et entre 15 et 18h), nous avons ainsi un total de 1125 couples origine/destination, et 598 en heures de pointe du matin (7-9 h)².

2.2 Modèle routier internet : Google Maps

Il a été possible de procéder à la résolution des itinéraires entre les couples O/D en heures creuses présents dans la base MOBEL. Pour cela, une première étape a consisté à géocoder les origines et destinations afin de vérifier leur adéquation avec les centroïdes retenus dans le modèle routier. Les données routières utilisées dans Google Maps sont fournies par le Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (Ministère de la Communauté flamande) et par le Ministère de l'Équipement et des Transports. Il s'agit donc a priori du même réseau que celui dont nous disposons, à un niveau de détail moindre. Nous utiliserons ce modèle pour les comparaisons en heures creuses uniquement. Ce modèle sera par la suite noté GMAP.

2.3 Modèle développé à l'UCL

Dans le cadre du projet 'Accessibility indicators to places and transports' un modèle d'accessibilité a été développé par G. Vandenbulcke et *al.* (2009) à l'échelle de la Belgique. L'approche est sensiblement différente en ce qui concerne le calcul de l'accessibilité, puisqu'elle implique une impédance sur les tronçons d'une commune

² Des observations de MOBEL, il faut néanmoins soustraire les observations hors du champ de notre étude. C'est le cas, par exemple, pour des localisations hors du périmètre d'étude (origine ou destination à l'étranger, par exemple) ou encore des valeurs aberrantes (valeurs nulles ou distances très inférieures à la ligne droite entre deux centroïdes de communes).

selon sa densité d'emploi et de population. Les calculs sont disponibles pour toutes les communes en heures creuses. En heures pleines en revanche, seuls sont disponibles les temps des communes à destination des 53 villes des trois niveaux supérieurs de la hiérarchie urbaine belge actualisée (Van Hecke, 1998). Ce modèle sera par la suite noté UCL.

3 Mise en place du réseau routier

3.1 Choix des points représentatifs des communes

Afin de garantir la plus grande cohérence au niveau du couplage des modèles, ces derniers doivent avoir la même échelle spatiale, à savoir ici les 589 communes de Belgique. À cette échelle, et compte tenu de la densité du réseau de transport belge, des simplifications sont opérées pour des raisons liées à la capacité de calcul et à l'indisponibilité des données. Concrètement, cette simplification consiste à choisir, pour chaque commune, un point considéré comme représentatif de la centralité du réseau ou du bâti. Cela revient donc à assimiler l'accessibilité de ce point à celle de toute la commune ; sur de courtes distances, cette simplification est certes contraignante, en revanche, à l'échelle d'un pays, ce postulat est acceptable.

Les communes étant issues, pour la plupart, de la fusion de plusieurs anciennes communes (en 1977), le choix d'un point unique représentant la commune n'est pas chose aisée. Pour autant, dans un souci d'objectivation, des règles systématiques ont été établies en fonction du type de commune. Pour ce faire, cette étape repose sur une typologie communale des « régions urbaines » (Van der Haegen, 1996). Cette dernière distingue quatre types de communes : des agglomérations, des banlieues, des zones résidentielles de migrants alternants et d'autres communes non polarisées. Pour chaque centre d'agglomération (soit 17 communes), nous retenons l'hypercentre (par exemple, pour Bruxelles : la Grand Place). Dans le cas des autres communes, et en absence de couche SIG plus précise, nous nous sommes appuyés sur un géocodage du nom de la commune. Après vérification, nous avons constaté que celui-ci se faisait la plupart du temps sur l'agglomération principale de chaque commune. Dans le cas contraire, lorsque le géocodage se trouvait en-dehors d'une zone urbanisée, nous

avons procédé à un repositionnement du centroïde en fonction du réseau et de l'agglomération la plus proche.

3.2 Représentation du réseau routier

Outre le choix des points communaux, une autre simplification est nécessaire, celle du réseau routier. Le réseau routier utilisé, issu du Service public fédéral Mobilité et Transports, contient une hiérarchie de voies allant des autoroutes aux routes nationales, ce qui est généralement suffisant dans le cas d'une modélisation intercommunale (Figure 3). Par ailleurs, les points représentatifs des communes doivent le cas échéant être raccordés au réseau par des connecteurs. Ce travail a pu révéler ponctuellement des zones insuffisamment détaillées pour lesquelles une ou plusieurs routes ont pu être digitalisées sur base des cartes routières disponibles sur internet ainsi que des zones urbanisées ou commerciales définies à partir d'une couche SIG (couche CORINE land cover 2001)³.

L'étape suivante consiste à fixer la vitesse en flux libre, qui est un des paramètres du modèle d'affectation du trafic. Ces vitesses ont été fixées en fonction d'une typologie des arcs tenant compte du nombre de voies de circulation, de la séparation ou non des sens de circulation par une bande centrale, ainsi que par le type d'urbanisation traversée.

³ Le paramétrage du réseau implique une vérification SIG des nœuds (intersection de deux arcs) qui doivent correspondre à une possibilité de changement de direction sur le terrain. Du fait de leur impact sur l'accessibilité, une attention particulière a été portée à la vérification des intersections des autoroutes avec le réseau de nationales. Ces vérifications ont été effectuées grâce à des orthophotos.

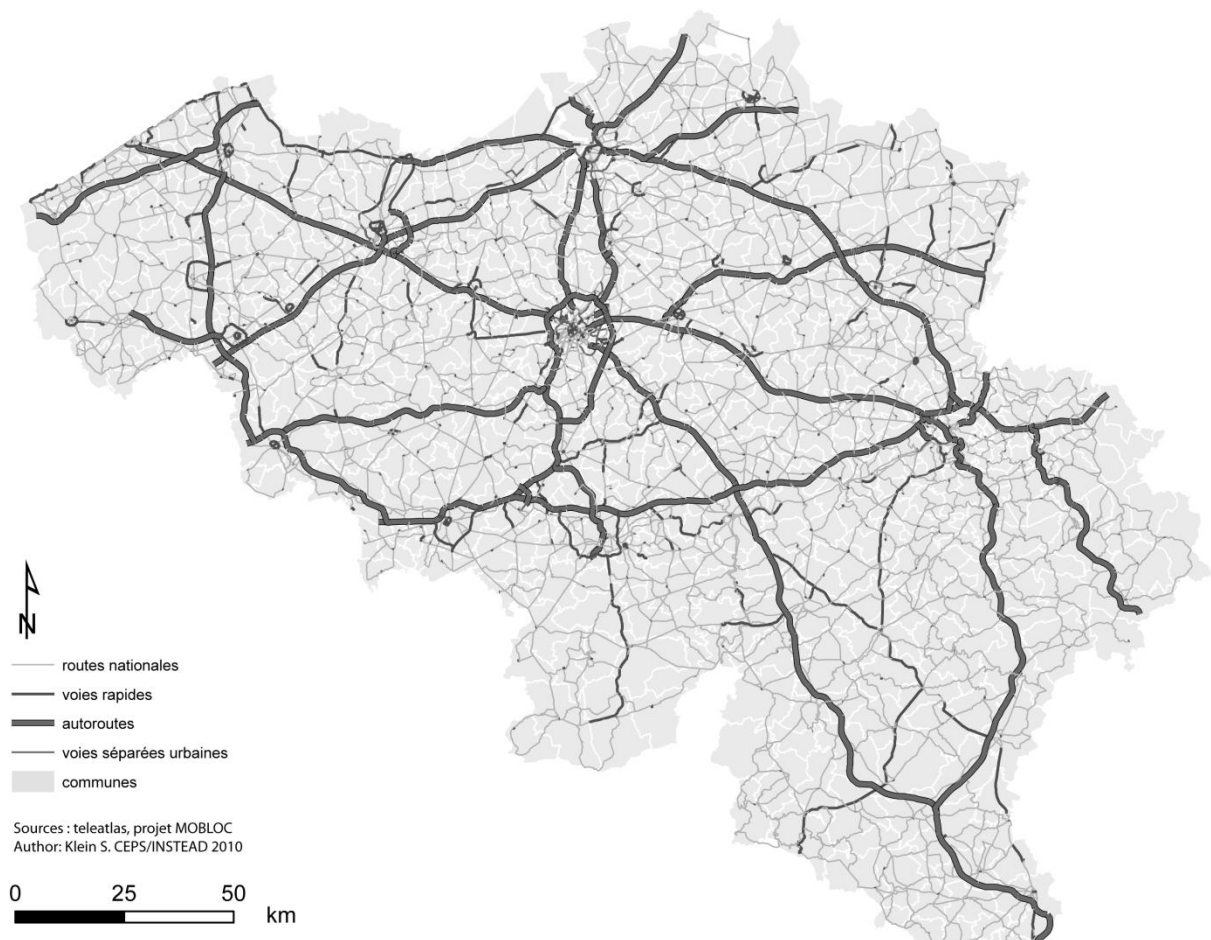


Figure 3 : Réseau routier de Belgique

Le dernier paramétrage important concerne la capacité des routes. D'une manière conventionnelle, la capacité d'une autoroute est de 2000 unités de voiture particulière (UVP) par heure et par bande de circulation (Barton-Aschman Associates, Inc.; Cambridge Systematics, Inc., 1997). Celle-ci peut cependant varier en fonction de la géométrie de la route et de l'ampleur du trafic. En ce qui concerne les routes en milieu urbain, la capacité conventionnelle est de 1200 UVP par heure et par bande de circulation. Hors agglomération, cette valeur varie entre 1400 et 2000 UVP par heure et par bande.

Sur la carte (Figure 3), on note la position privilégiée de Bruxelles au centre d'un réseau autoroutier reliant les grandes villes du pays, Anvers au Nord, Gand, puis Bruges à l'est. Les principales villes de Wallonie sont également bien reliées avec,

d'ouest en est, Liège, Namur, Charleroi et Mons. Le sud du pays apparaît comme moins bien desservi en infrastructures.

4 Principe de l'affectation de trafic et de la comparaison des modèles

4.1 Principe d'un modèle d'affectation de trafic

On aborde la modélisation en deux étapes selon que l'on se situe en heures creuses ou en heures de pointe. En effet, en heures creuses, on peut faire l'hypothèse que les trajets s'effectuent sur les tronçons à la vitesse en flux libre. Cela revient donc à appliquer un algorithme de minimisation de coût, tel l'algorithme de Dijkstra (1959), pour déterminer le chemin présentant le coût minimal. La fonction de coût ici retenue est celle d'une minimisation du temps de parcours.

En heures de pointe, nous utilisons un modèle permettant d'affecter les flux, de manière à atteindre un équilibre utilisateur, sur les chemins de coûts minimaux, en tenant compte de la relation qui existe entre le temps de parcours sur une route et le débit de véhicules. Ces chemins minimaux étant préalablement déterminés dans des conditions en flux libres, cela signifie qu'il est possible de partir du modèle calibré en heures creuses pour paramétrer le modèle en heures de pointe.

Pour chaque arc du modèle routier doit être définie une fonction débit-vitesse, spécifiant la dégradation de la vitesse maximale qu'il est possible d'atteindre à mesure que le nombre de véhicules approche la capacité maximale de la route. Un grand nombre de fonctions ont été développées et discutées (Branston, 1976), parmi lesquelles les fonctions de type BPR (1) développée par le American Bureau of Public Roads :

$$T = T_0(1 + \alpha(V/Q)^\beta) \quad (1)$$

avec T : le temps de trajet, V : le flux, Q : la capacité de l'arc routier, T_0 : le temps de trajet en flux libre et α and β : les paramètres de la fonction fixés selon la typologie des routes. Elle évolue de la façon suivante (Figure 4) :

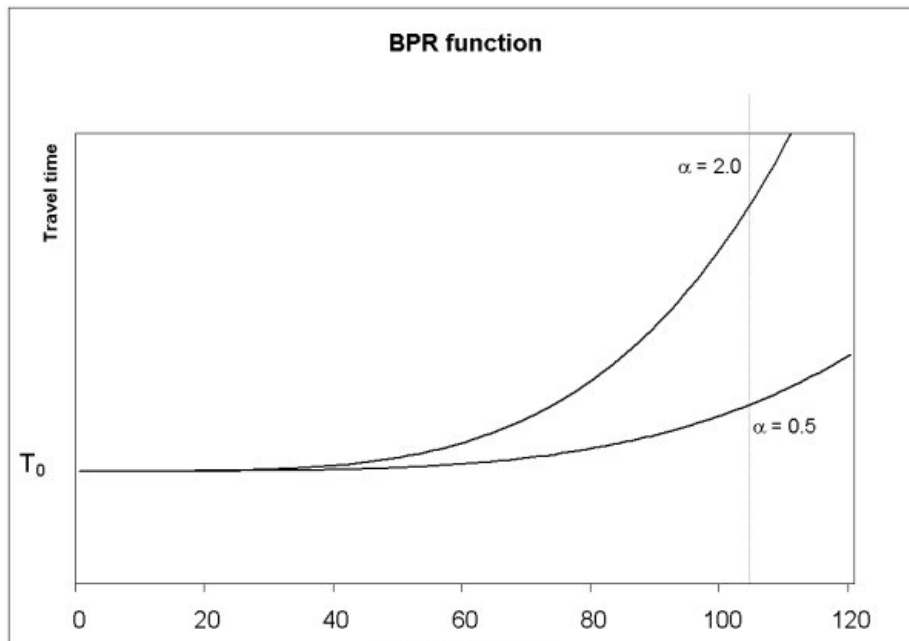


Figure 4 : Représentation graphique d'une fonction de type BPR (Bureau of Public Roads, 1964)

Le modèle retenu pour l'affectation en heures de pointe repose sur la première hypothèse de Wardrop (Wardrop, 1952) qui spécifie les conditions permettant d'atteindre un équilibre utilisateur. Un tel équilibre stipule qu'aucun usager ne peut seul améliorer son temps de parcours en modifiant son itinéraire. Un tel équilibre est approché par un algorithme cherchant à répartir la charge restantes sur des itinéraires équivalents (en temps dans notre cas).

A l'issue de cette procédure d'équilibrage, une nouvelle vitesse est affectée à chaque tronçon routier. On calcule alors la matrice des temps de trajet entre chaque commune grâce, à nouveau, à un algorithme de plus court chemin (Dijkstra, 1959).

4.2 Principe de validation par comparaison des modèles

Dès lors que le modèle d'accessibilité est paramétré, se pose la question de la validation de ce dernier. Comme nous l'avons souligné, en l'absence de base de référence suffisamment exhaustive et précise, nous avons opté pour une comparaison de nos modèles avec une base de temps déclarés (MOBEL, 1999) ainsi qu'avec d'autres modèles basés sur des méthodologies différentes, afin de les valider

Pour tester l'ajustement des modèles et leurs estimations, il existe plusieurs indices statistiques permettant la comparaison de matrices observées et estimées (Knudsen et Fotheringham, 1986). Les indices suivants ont en particulier été relevés pour leur sensibilité linéaire au niveau d'erreur pour une matrice complète de couple (cf. Annexe 1).

- SRMSE : Standardized Root Mean Square Error

$$SRMSE = \left\{ \sum_{i=0}^n (p_i - q_i)^2 / n \right\}^{1/2} / \left(\sum_{i=0}^n p_i / n \right) \quad (2)$$

avec p_i et q_i , les temps de parcours observés et estimés. La limite inférieure de cette statistique est zéro, indiquant une prédiction parfaite et sa limite supérieure est généralement 1, bien que des valeurs supérieures à un, puissent survenir quand l'erreur moyenne est supérieure à la moyenne.

- La statistique phi

$$\phi = \sum_i p_i |\ln(p_i / q_i)| \quad (3)$$

avec p_i et q_i les probabilités des flux observés et estimés. Cette statistique a pour limites zéro et l'infini.

- La valeur absolue de la statistique psi

$$\bar{\psi} = \sum_i p_i |\ln(p_i / s_i)| + \sum_i q_i |\ln(q_i / s_i)| \quad (4)$$

avec p_i et q_i les probabilités des flux observés et estimés, et $s_i = (p_i + q_i) / 2$. Cette statistique n'a pas de distribution théorique connue.

Nous avons testé deux autres statistiques :

- AED : Absolute Entropy Difference, définie comme la valeur absolue de la différence des entropies entre les valeurs de probabilités observées et prédites.

$$AED = |H_p - H_q| \quad (5)$$

avec H_p et H_q les entropies de Shannon (Shannon, 1948) telles que $H_p = -\sum_i p_i \ln(p_i)$

- Le chi carré : χ^2

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(p_i - q_i)^2}{q_i} \quad (6)$$

5 Modèle d'accessibilité en heures creuses

5.1 Affectation en heures creuses

Le modèle routier a été importé dans le logiciel OmniTRANS⁴. C'est également dans ce logiciel que sont réalisées les affectations de trafic en heures creuses comme en heures pleines.

Trois paramétrages ont été mis en œuvre et trois matrices des temps ont été générées en heures creuses selon une affectation tout-ou-rien (AON assignment).

Le premier (Mob_a) base sa typologie de routes selon la classification communale de Van der Haegen et *al.* (1996).

Le paramétrage Mob_b s'appuie sur une typologie différente tenant compte de la traversée des zones urbaines ou commerciales à un niveau infracommunal.

Le paramétrage Mob_c, quant à lui, est une variante de Mob_b, pour lequel on a cherché à corriger les écarts de vitesse s'éloignant de plus de 20% par rapport aux temps déclarés MOBEL et par rapport aux temps de trajet estimés par le modèle Google Maps, pour les distances supérieures à 10 km. Nous avons choisi de ne pas retenir le cas des distances trop faibles. En effet, les origines et destinations dans MOBEL peuvent se situer partout dans le périmètre d'une commune. Ainsi, nous avons pu calculer que la distance moyenne des trajets domicile-travail et domicile-études intracommunales fait 4 km, ce qui donne une idée de l'erreur possible sur les distances intercommunales. Les corrections apportées ont varié, allant de l'ajout de liaisons routières, là où la hiérarchie routière retenue ne permettait pas une modélisation réaliste de la desserte des communes, jusqu'à la correction des paramètres des liaisons routières (correction du nombre de voies) à l'aide de photos aériennes.

La représentation cartographique des temps à partir de chaque commune à destination de Bruxelles est présentée en Figure 5. On constate que les classes de temps de trajets vers Bruxelles s'étalent différemment selon les modèles. Les modèles Mob_a et UCL ont une distribution des classes plus large autour de Bruxelles, ce qui correspond à des vitesses plus importantes. Les modèles Mob_b et Mob_c révèlent une dis-

⁴ Version 5.0.28, développé aux Pays-Bas par la société OmniTRANS International. <http://www.omnitrans-international.com>

tribution similaire à celle du modèle Google Maps, et montrent une distribution plus resserrée, correspondant à des vitesses plus réduites. Par ailleurs, on peut voir à travers la distribution des classes le long des axes autoroutiers que ces modèles sont davantage sensibles à la hiérarchie des routes par rapport à Mob_a et UCL.

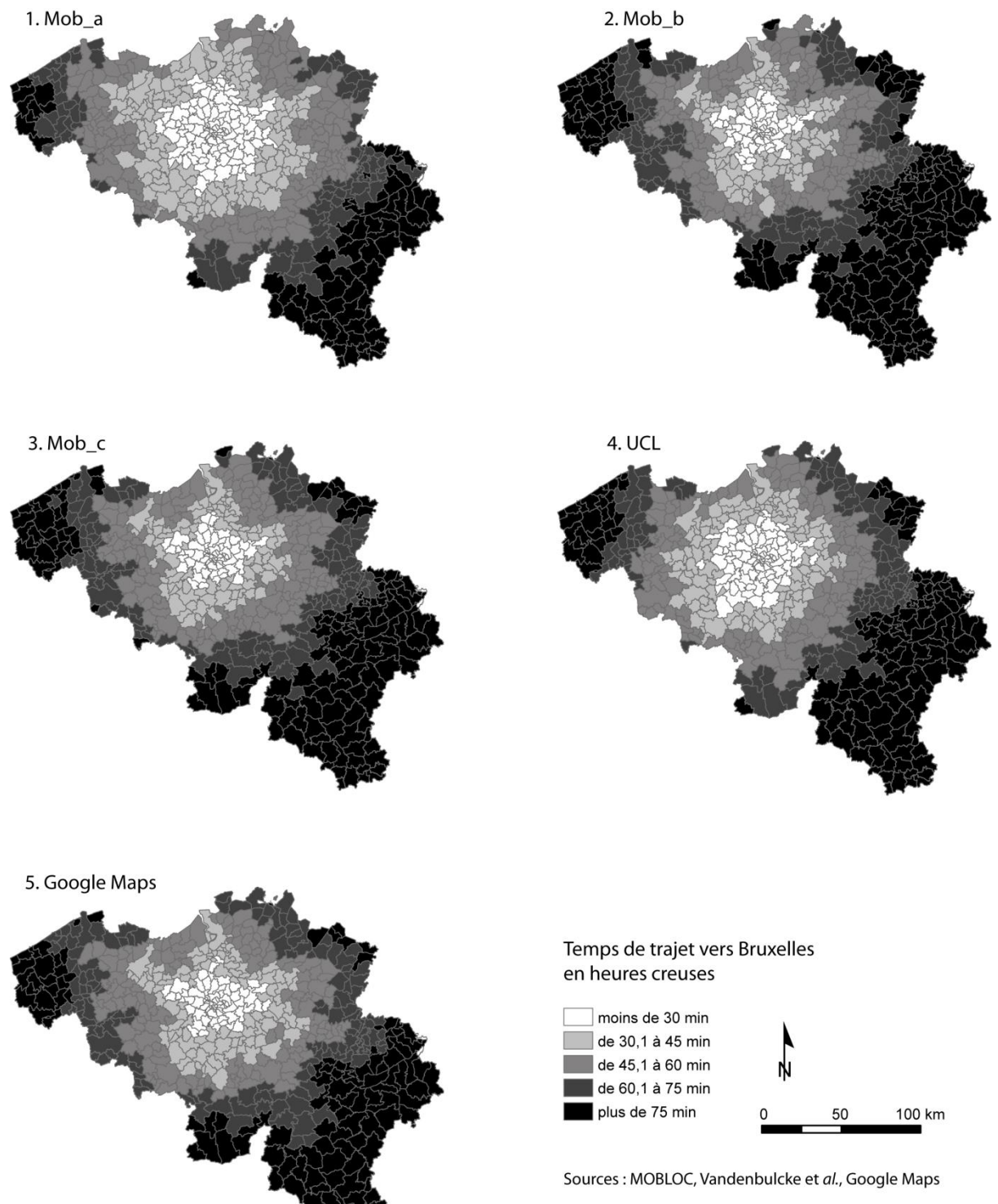


Figure 5 : Représentations des temps de trajet en heures creuses selon différents modèles

5.2 Qualité de l'ajustement en heures creuses

Les statistiques d'ajustement des modèles en heures creuses sont résumées dans le Tableau 1.

Modèle	AED	X2	SRMSE	PSI	PHI
Mob_a	0,026	12670	0,84	0,30	0,33
Mob_b	0,037	5779	0,68	0,27	0,30
Mob_c	0,036	5789	0,67	0,27	0,29
UCL	0,048	11400	0,80	0,30	0,33
GMAP	0,024	6281	0,76	0,28	0,29

Tableau 1 : Valeurs d'ajustement des modèles en heures creuses

En ce qui concerne l'AED, les modèles Mob_a et GMAP sont mieux positionnés que Mob_b, UCL et Mob_c. Par contre, pour χ^2 , SRMSE, ψ et ϕ les modèles Mob_b et Mob_c et GMAP présentent des ordres de grandeurs similaires devant Mob_a et le modèle UCL.

Il semble donc que la prise en compte du type d'urbanisation traversée des modèles Mob_b et Mob_c apporte un niveau de précision intéressant, si on se base sur les comparaisons cartographiques avec GMAP et les quatre dernières statistiques du tableau 1. A la lumière des résultats de ces statistiques, le modèle Mob_c a été conservé plutôt que Mob_b pour mettre en œuvre le modèle en heures de pointe.

6 Modèle d'accessibilité en heures pleines

6.1 Affectation en heures de pointe du matin

Trois modèles ont là aussi été testés. Ils ont été construits à partir du modèle Mob_c. Les paramètres de la fonction débit-vitesse doivent être définis pour les différents arcs routiers. Là encore, nous les définissons en respectant la typologie définie lors de l'étape de mise en place du réseau routier. Les flux issus de l'enquête socio-économique de 2001 ont été rapportés à une périodicité d'une heure et affectés sur les arcs routiers⁵.

⁵ La matrice O/D de la demande de déplacements est affectée sans tenir compte de la diagonale

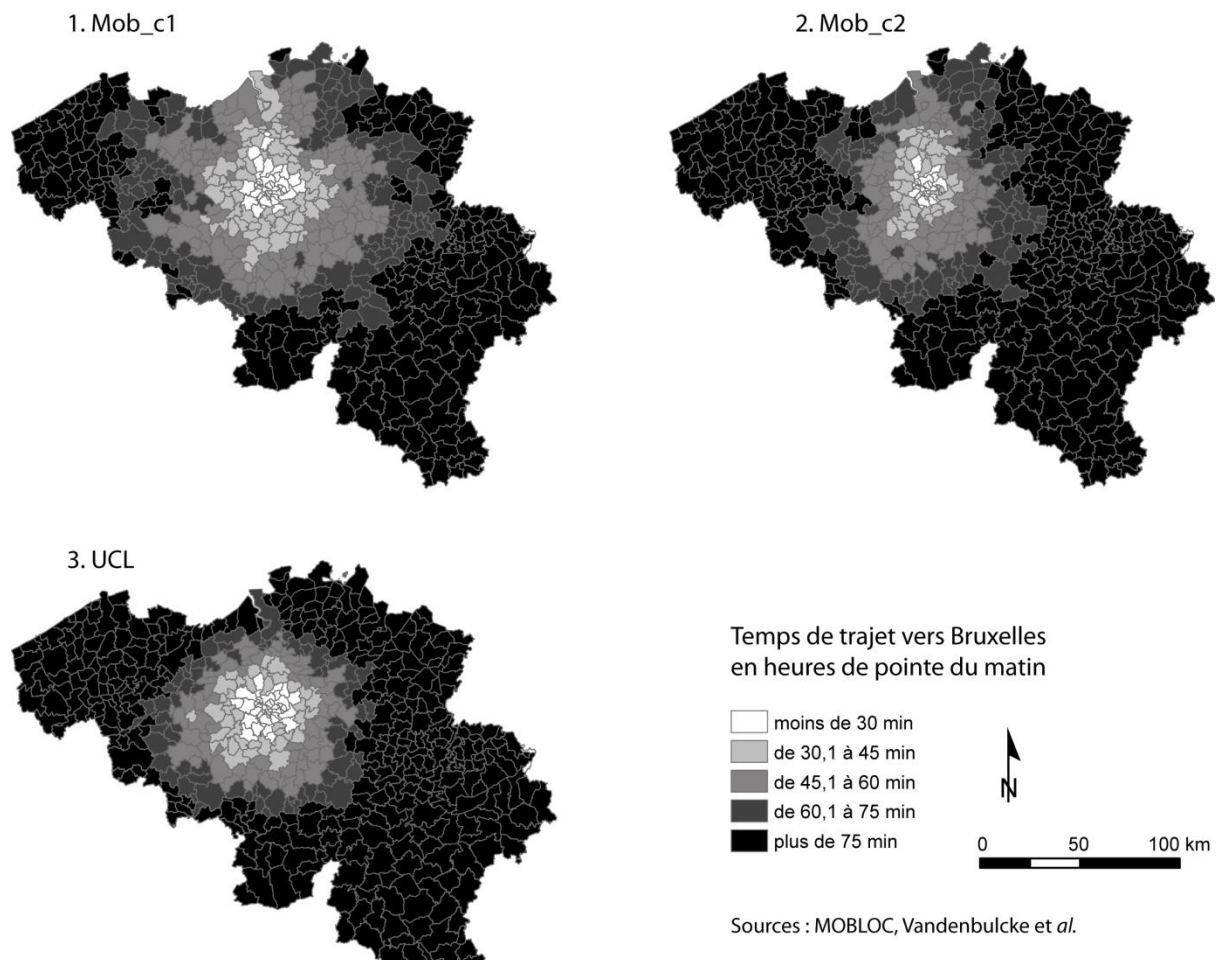


Figure 6 : Temps de trajet vers Bruxelles en heure de pointe du matin selon les différents modèles

Deux jeux de paramètres ont été testés à partir du modèle Mob_c défini en heures creuses, notés Mob_c1 et Mob_c2 et leurs temps à destination de Bruxelles cartographiés (Figure 7).

On a conservé la discrétisation des temps de trajets en heures creuses dans un but de comparabilité. Dans le Mob_c1, les couronnes des communes d'une même classe temporelle sont très resserrées par rapport à la situation de Mob_c2. Les temps d'accès dans le cas du modèle UCL en heures de pointe ont une distribution concentrique autour de Bruxelles, au contraire des modèles développés dans MOBLOC qui privilégient un axe Anvers-Bruxelles. L'explication réside probablement dans la présence des deux autoroutes qui relient les deux villes, et donc mieux à même de répartir les flux entrant vers Bruxelles en heures de pointe que dans le cas des autres communes périphériques, la plupart ne bénéficiant que d'une seule autoroute.

6.2 Qualité de l'ajustement en heures pleines

Les résultats des statistiques comparant les observations de MOBEL en heures de pointe du matin avec les matrices de temps des différents modèles sont présentés dans le Tableau 2. Précisons que cette dernière comparaison est faite sur un effectif de 230 couples O/D. Cet effectif est bien plus réduit que dans l'analyse en heures creuses pour deux raisons. D'une part, la période considérée est plus courte, et d'autre part, les données disponibles dans le modèle UCL ne concernent pas toutes les destinations, mais seulement les communes des trois premières classes de la hiérarchie urbaine de Van Hecke.

Modèle	AED	X2	SRMSE	PSI	PHI
Mob_c1	0,019	801	0,312	0,234	0,241
Mob_c2	0,024	883	0,376	0,276	0,279
UCL	0,068	872	0,420	0,262	0,272

Tableau 2 : Valeurs d'ajustement des modèles en heures de pointe du matin

Des statistiques d'ajustement des trois modèles sont présentées dans le Tableau 2 et ont des ordres de grandeurs similaires. Le modèle Mob_c1 présente les meilleurs résultats. Nous considérons ainsi que c'est sur ce modèle que doivent être calculés les indicateurs d'accessibilité permettant le retour vers le modèle de migration de MOBLOC (Figure 1).

7 Conclusion

L'objet de cet article était double : d'une part présenter la mise en place d'un modèle basé sur un réseau routier simplifié à l'échelle des communes de Belgique, et d'autre part de définir des critères de validation de ce modèle s'appuyant sur deux sources, le modèle Google Maps et le modèle développé à l'UCL (Vandenbulcke et *al.* 2009).

Concernant le premier point, on peut dire que malgré les simplifications opérées au niveau du réseau routier, simplifications rendues nécessaires pour des raisons pratiques de temps de calcul et de disponibilité des données, il a été possible de mettre en place un modèle d'accessibilité en HC et en HP à l'échelle de toutes les communes de Belgique.

Enfin, concernant la méthode de validation retenue avec l'emploi des statistiques d'ajustement, elles-mêmes, on constate une certaine variabilité dans les résultats, qui favorisent parfois l'un ou l'autre modèle.

Certaines précautions doivent néanmoins être soulevées, quant à l'utilisation des temps de trajets déclarés sur une base d'enquête. D'une part, concernant les trajets en période creuse, ceux-ci sont assimilés à des conditions de trafic fluide, ce n'est pas forcément le cas en milieu de journée, même en dehors des heures de pointe. Néanmoins, il est nécessaire de prendre en compte de tels intervalles pour disposer d'un effectif suffisant.

En second lieu, il faut garder à l'esprit l'incertitude liée à la précision des réponses. Ainsi on peut supposer que les temps de trajets courts seront plus fréquemment arrondis (à 5 ou 10 min) ce qui crée une erreur proportionnellement plus importante par rapport au temps réellement nécessaire. Des relevés terrain, en éliminant la part de subjectivité de la base d'enquête, permettraient sans doute un meilleur ajustement.

Références bibliographiques

- Barton-Aschman Associates, Inc.; Cambridge Systematics, Inc., (1997) *Model Validation and Reasonableness Checking Manual*, 118 p.
- Branston, D. (1976) Link capacity functions : a review. *Transportation Research* 10, 223-236
- Brück L., Halleux J.-M., Mérenne-Schoumaker B., Savenberg S. et Van Hecke E., 2001.
« L'intervention de la puissance publique dans le contrôle de l'étalement urbain - Première partie : état de la question en Belgique », *SSTC - Leviers d'une politique de développement durable*, 154 p. - <http://www.ulg.ac.be/geoeco/segefa>
- Bureau of Public Roads (1964) *Traffic Assignment Manual*. Urban Planning Division, US Department of Commerce, Washington D.C.
- Cornélis E., Bahri A., Eggerickx T., Carpentier S., Klein S., Gerber P., Pauly X., Walle F., Toint P., 2009. *Mobilities and long term location choices in Belgium "MOBLOC"*, Final report for the Belgian Science Policy, Phase 1. 47 p.
- Dijkstra E. W. (1959) A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1, p. 269–271.
- Goodwin, P. (1995). Car dependence. *Transport Policy*, 2(3), p. 151–152.
- Halleux J.-M., Brück L., Mairy N., (2002). « La périurbanisation résidentielle en Belgique à la lumière des contextes suisse et danois: enracinement, dynamiques centrifuges et régulations collectives », *Belgeo*, 4(2002), p. 333-354.
- Hubert J-P., Toint P. (2002) *La mobilité quotidienne des Belges*. Presses Universitaires de Namur. 352 p.
- Joly I. (2005) « Décomposition de l'hypothèse de constance des budgets temps de transport », in *Mobilités et temporalités* Montulet B et al. (dir), Facultés Universitaires Saint Louis, Bruxelles, 129-150
- Knudsen D. C., Forthingham A. S. (1986) « Matrix Compararison, Goodness-of-Fit, and Spatial Interaction Modeling », *International Regional Science Review*, Vol. 10, No. 2, p. 127-147
- Shannon, C. E. (1948) The mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal* 27: 379-423 ; 623-56
- Van der Haegen H., Van Hecke E., Juchtman G. (1996) *Les régions urbaines belges en 1991*, Études Statistiques, n° 104.
- Van Hecke E. (1998). « Actualisation de la hiérarchie urbaine en Belgique ». *Bulletin du Crédit Communal*, vol. 205, n° 3, p. 45-76.
- Vandenbulcke G., Steenberghen T., Thomas I. (2009) Mapping accessibility in Belgium: a tool for land-use and transport planning? *Journal of Transport Geography*, 17(2009) p. 39-53

Wiel M., (1999). *La transition urbaine ou le passage de la ville pédestre à la ville motorisée*, Mardaga, 149 p.

Zahavi Y. et Talvitie A. (1980) « Regularities in Travel Time and Money Expenditure », in : *Transportation Research Record*, 750, 13-19.

Annexe 1 : Analyse de sensibilité

Nous avons testé la sensibilité de ces indicateurs sur l'échantillon de MOBEL en heures creuses en introduisant un terme d'erreur (7) :

$$q_i = p_i + \delta \times (p_i \cdot rnd \cdot fact) \quad (7)$$

avec q_i : les valeurs estimées du temps de parcours, p_i : les valeurs observées du temps de parcours, δ : nombres aléatoires $\{-1,1\}$, rnd : nombre aléatoire $[0,1]$ et $fact$: pourcentage d'erreur. Pour chaque niveau d'erreur, les valeurs des indices statistiques AED, χ^2 , SRMSE, φ et ψ , ont été calculés.

Cette procédure a été répétée plusieurs fois ($n=100$) et les moyennes des indices ont été calculées. La sensibilité de chaque indice selon la variation des niveaux d'erreur est reportée en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, avec en abscisse les niveaux d'erreur et en ordonnée la valeur standardisée de l'indice statistique moyen.

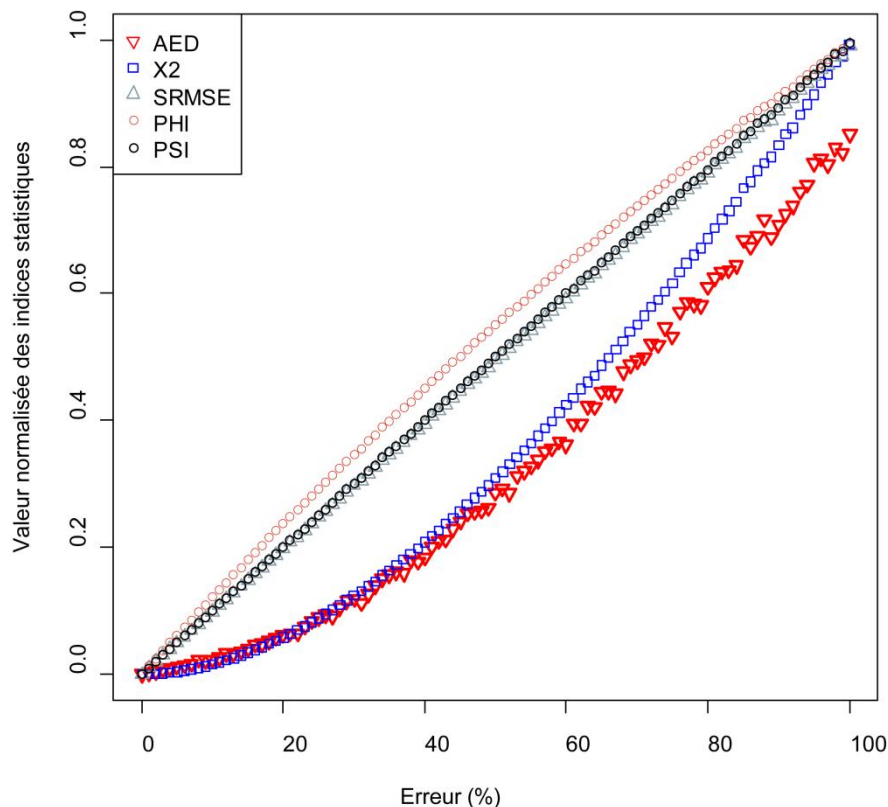


Figure 7 : Test de sensibilité à l'erreur pour cinq statistiques d'ajustement

Les statistiques SRMSE, φ et ψ présentent une relation linéaire au taux d'erreur, au contraire de l'AED et χ^2 qui sous-estiment le taux d'erreur pour les faibles taux d'erreur aléatoire.

CEPS
I N S T E A D

B.P. 48
L-4501 Differdange
Tél.: +352 58.58.55-801
www.ceps.lu