

CARTOGRAPHIE DE L'ACCESSIBILITE PAR LES ALTERNATIVES A LA VOITURE

Yves CORNET¹, Delphine DAXHELET², Jean-Marie HALLEUX³, Anne-Catherine KLINKENBERG², Jean-Marc LAMBOTTE²

¹ SURFACES-ULg,
Allée de 6 août 17, B5
B-4000 Sart-Tilman

² LEPUR-ULg
Rue de l'aunaie 30, B38
B-4000 Sart-Tilman

³ UGES / SEGEFA-ULg
Allée du 6 août 2
B-4000 Sart-Tilman

tel : +32 (0)4 366 58 88 fax : +32 (0)4 366 58 90 e-mail: lepur@ulg.ac.be

Abstract

The research unit LEPUR (University of Liège), working for the Standing Conference on Territorial Development, developed a method to calculate the accessibility of every spot in the Walloon region through modes of transport alternative to the car. This accessibility is measured in 'expected modal shares' and can be mapped. The method uses the INS data at the most disaggregated scale and is based on regression techniques. A few examples of factors influencing accessibility are public transport frequencies and population density. The maps can be used as decision-making tools since they can help to find the best locations for housing and activities in order to promote sustainable transport and development.

1. Introduction

Depuis plus de quatre décennies, on constate un intense processus d'exurbanisation et d'étalement urbain. Ménages et activités économiques montrent une forte propension à quitter les centres urbains pour s'installer à la périphérie sous des formes dispersées et grandes consommatrices d'espace. Une autre caractéristique de cette nouvelle urbanisation est la séparation des fonctions : lotissements de villas quatre façades, zones commerciales périphériques, parcs d'activités, complexes cinématographiques, campus, hôpitaux, ... sont ainsi souvent dissociés dans l'espace. Une des principales contradictions avec les principes du développement durable qu'engendre ce processus qualifié de désurbanisation (Barte-Batsalle *et al.*, 2002) est le fort développement de l'utilisation de la voiture au détriment des modes alternatifs.

Par rapport à de nombreux pays européens (Pays-Bas, Allemagne, Danemark, Suisse ...), la Belgique se caractérise par une faible canalisation de ce mouvement de désurbanisation (Bach *et al.*, 1997 ; Halleux *et al.*, 2002). En vue de favoriser une réorientation de l'urbanisation dans le sens du développement durable, la Conférence Permanente du Développement Territorial (CPDT) de la Région wallonne a pour mission d'élaborer un outil d'aide à la

décision en matière d'aménagement du territoire. Dans ce cadre, le LEPUR de l'Université de Liège a élaboré un outil cartographique couvrant toute la Wallonie et permettant de délimiter les lieux où il existe une bonne accessibilité par les modes alternatifs à la voiture, afin d'y concentrer les développements immobiliers futurs et de préserver ainsi le reste du territoire (CREAT-UCL et LEPUR-ULg, 2004). L'objectif de cette communication est de présenter la méthodologie adoptée et un état d'avancement de ce travail.

2. Approche méthodologique

La démarche générale du travail consiste en l'analyse de la distribution spatiale des choix modaux à partir des données INS par secteur statistique (recensement général de la population de 1991 – les seules disponibles à cette échelle jusque 2005), et dans l'identification des paramètres qui l'expliquent. Nous avons ainsi entamé la modélisation de cette distribution afin d'obtenir une mesure de l'accessibilité pour chacun des modes alternatifs à la voiture – modes lents (marche + vélo), bus et trains – en tout point du territoire wallon. L'approche méthodologique adoptée pour la modélisation est étroitement liée au mode de déplacement considéré. En effet, les facteurs à prendre en considération (tableau 1) et l'échelle d'analyse leur sont spécifiques. Les données doivent donc présenter un niveau de détail et de précision spatiale adapté.

Traditionnellement, l'analyse de l'accessibilité repose sur des calculs de longueur ou durée d'un trajet depuis une ou plusieurs origines vers une seule destination (Van Raes *et al.*, 1998). Notre problématique est plus complexe puisqu'il s'agit de déterminer une accessibilité en tout point de l'espace depuis un très grand nombre d'origines. Techniquement, le problème peut être résolu en mode vectoriel ou en mode image. Le premier est particulièrement exigeant en matière de structuration des données et d'algorithmes de recherche de plus court chemin. Le second l'est moins ; nous l'avons donc adopté. Toutes les données ont donc été rasterisées à une résolution de 50m fournissant un compromis acceptable entre le niveau de détail exigé et les dimensions du territoire régional.

A cette résolution, la complexité des chemins suivis pour les déplacements courts dans des réseaux denses n'a pu être modélisée. Certains facteurs et contraintes influençant les déplacements ont ainsi été simplifiés par nos choix. Par ailleurs, l'approche envisagée n'a pas permis de prendre totalement en compte la multimodalité des déplacements. La modélisation porte sur le mode principal, mais intègre également l'influence de certains facteurs sur l'accès à ce mode par un autre. Par exemple, le déplacement en voiture depuis le lieu de résidence vers la gare de départ, ou le déplacement en bus depuis la gare de destination vers le lieu de travail.

La modélisation repose sur le concept simple du potentiel. Pour les modes lents, un potentiel lié à la densité de population est calculé à partir des données de l'INS à l'échelle des secteurs statistiques et d'une classification d'une mosaïque d'images SPOT délimitant les espaces bâtis et généralisée à la résolution de 50 m. Sur le plan méthodologique, la mesure de l'accessibilité par les modes lents repose sur deux constats : la part des déplacements piétons et cyclistes diminue rapidement avec la distance à parcourir ; pour de nombreux déplacements, le domicile correspond soit à l'origine, soit à la destination. Ces deux constats justifient pourquoi il est pertinent de construire une mesure de l'accessibilité par les modes lents via une mesure de la densité résidentielle. Pour les bus et trains, il s'agit d'un calcul d'un potentiel d'offre. Dans le premier cas, l'offre est déterminée par la fréquence quotidienne de bus par ligne et, dans le second, elle est déterminée par la fréquence des trains pondérée par

leurs type et destination. Pour illustrer la méthode, nous détaillons la procédure développée pour les modes lents. Globalement, les principes adoptés pour les autres modes sont assez similaires.

En chaque pixel, un voisinage circulaire de 1600 m de rayon a été pris en compte. Il s'agit de la distance euclidienne maximale au-delà de laquelle nous avons considéré l'utilisation de la marche et du vélo comme négligeable sur base de l'enquête du GRT-FUNDP. Dans ce voisinage, deux fonctions de pondération ont été appliquées pour prendre en compte les deux facteurs déterminant la propension à se déplacer par ces modes. La première est une fonction exponentielle décroissante de la distance horizontale (Toint *et al.*, 2000). La seconde modélise l'effet du relief. Sa valeur dépend de la différence d'altitude entre chaque origine possible dans le voisinage et le centre de celui-ci. La complexité du relief n'est donc pas prise en compte. L'effet du relief est une fonction linéaire décroissante de la différence d'altitude entre le point considéré et le centre du voisinage calculée à partir d'un MNT. Les deux fonctions ont été combinées en exploitant un modèle multiplicatif pour obtenir un poids unique en chaque pixel du voisinage grâce auquel le potentiel a été estimé. C. Briquet (2003) a introduit dans ce modèle l'effet des barrières (rivières, autoroutes, chemins de fer) qui peuvent jouer un rôle important dans les régions urbaines. Faute de données géographiques exploitables, cet effet n'a cependant pas encore pu être estimé sur la totalité du territoire.

Par la suite, le potentiel calculé pour les modes lents a été relativisé par le potentiel attendu, tous modes confondus, dans un voisinage de 8 km. Ceci afin de tenir compte du caractère + ou - urbain du lieu, qui offre + ou - de possibilités d'utiliser d'autres modes. Pour le voisinage de 8 km, seul le facteur de la distance a été considéré.

En ce qui concerne les déplacements en bus ou en train, les facteurs envisagés sont, outre la fréquence de la desserte, la distance aux arrêts ou gares et la différence d'altitude, en considérant que le déplacement vers ces points se fait à pied (ou en voiture et en bus pour le train). Les fonctions de pondération adoptées sont linéaires dans les deux cas et le voisinage couvert est de dimensions différentes selon le mode. Le rayon du voisinage est de 500 m pour les bus, et 700 ou 3000 m pour les trains selon que l'on considère respectivement le trajet entre le lieu de travail et la gare ou entre lieu de résidence et la gare, ce dernier pouvant être effectué en voiture. Bien entendu, la fonction relative à l'altitude a été adaptée à ces distances.

A ce stade, l'accessibilité s'exprime différemment pour chaque mode. Il a donc été nécessaire de convertir les estimations en parts modales. Pour cela, nous avons fait appel à une méthode de calibration basée sur la quantification, à l'échelle des secteurs statistiques, de la relation entre l'accessibilité *estimée* (potentiel calculé) et sa part modale *observée* (données INS). L'analyse spatiale des résidus a, dans un premier temps, permis d'intégrer des facteurs correctifs aux modèles. Ceux-ci font l'objet du point 3 de cet article. Dans un second temps, après application des corrections, cette mise en relation a permis d'estimer l'exactitude de notre modélisation. La discussion des résultats de cette validation fait l'objet du point 4.

Tableau 1. Facteurs et correctifs

	Lieu de résidence	Lieu de travail
Bus	# fréquence cumulée des bus aux arrêts # distance aux arrêts (maximum 500 m) # dénivellation par rapport à l'arrêt (60 m) # distance aux petites, moyennes et grandes villes	# fréquence cumulée des bus aux arrêts # distance aux arrêts (maximum 500 m) # dénivellation par rapport à l'arrêt (60 m)
Trains	# fréquence cumulée des trains aux gares # distance aux gares (maximum 3 000 m) # dénivellation par rapport à la gare (300m) # distance aux grandes villes	# fréquence cumulée des trains aux gares # distance aux gares (maximum 700 m) # dénivellation par rapport à la gare (60 m) # desserte en bus depuis les principales gares
Modes Lents	# potentiel de population présente dans un rayon de 1600 m # potentiel de population dans un rayon de 8 km # dénivellation (80 m)	# potentiel de population présente dans un rayon de 1600 m # potentiel de population dans un rayon de 8 km # dénivellation (80 m) # distance aux moyennes et grandes villes

3. Correctifs au lieu de résidence

3.1 Le bus

La distance et le poids du pôle d'emploi que forment les centres-villes vers lesquelles mènent les lignes de bus jouent un rôle important dans les choix modaux. En effet, bien que l'offre en bus ait sa plus forte concentration dans les centres villes, on observe une part modale du bus au lieu de résidence parfois élevée en périphérie, là où l'offre est souvent plus limitée. En d'autres termes, le centre-ville est plus un lieu de destination qu'un lieu de départ : les bus y amènent les travailleurs depuis la périphérie, mais peu de résidents de ces centres utilisent le bus pour rejoindre leur travail.

Le facteur correctif appliqué à la part modale calculée précédemment est donc en une fonction de la distance aux centres représentée à la figure 1 (courbe type). Son maximum correspond à la situation où une proportion importante des résidents travaillent dans le centre urbain mais ont un domicile trop éloigné pour s'y rendre à pieds. A grande distance, sa stabilisation à un niveau moyen exprime qu'une moindre proportion des résidents est susceptible de venir travailler dans le centre urbain.

3.2 Le train

Pour le train, trois correctifs sont introduits. Le premier est un facteur qui augmente l'importance (* 1,5 en terme de poids) de tous les trains allant à Bruxelles. En effet, il y avait une sous-estimation systématique le long de ces lignes. Cela est dû, entre autre, aux problèmes de parking et de congestion routière de la capitale.

Le deuxième est un terme qui accroît la distance maximale considérée autour de la gare (de 700 à 3000 m). En effet, la possibilité d'utiliser un autre mode (principalement la voiture) pour se rendre à la gare depuis le domicile permet aux usagers du train de parcourir une plus grande distance entre le lieu de résidence et la gare de départ qu'entre la gare d'arrivée et le lieu de travail. La dénivellation tolérée est ajustée en fonction de ce nouveau critère de distance.

Enfin, le troisième terme permet d'intégrer la distance aux pôles d'emploi que forme le centre des grandes villes vers lesquelles mènent les voies ferrées ainsi que leur importance. Ceci permet de prendre en considérations les navetteurs habitant à plus de 3 km de la gare. La

fonction indique ainsi (voir courbe type) une moindre utilisation du train par les populations vivant à proximité du centre des principales agglomérations (car elles y travaillent souvent aussi), puis marque un accroissement rapide avec un maximum dans la couronne périphérique (personnes travaillant dans les centres et habitant trop loin que pour utiliser les modes lents ou le bus) pour ensuite diminuer (majorité de personnes ayant un lieu de travail extérieur aux centres).

4. Correctifs au lieu de travail

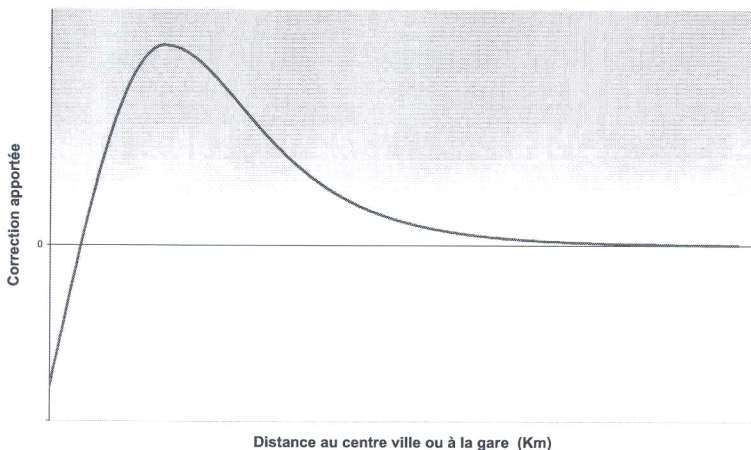
4.1 Le train

Une fois arrivés à leur gare de destination, les navetteurs n'ont souvent plus que deux choix : soit ils se rendent à leur lieu de travail à pied, soit en bus / métro. Le terme correctif introduit la multimodalité train + bus. Il prend en compte les lignes de bus passant par les 18 principales gares et intègre ainsi l'accessibilité des lieux desservis par ces lignes (calculée selon le modèle de base présenté ci-dessus) et l'importance des gares elles-mêmes. Le correctif est une fonction de la distance à la gare (voir courbe type) appliquée à l'accessibilité bus calculée précédemment. Lorsque le lieu de travail jouxte la gare, l'usage du bus est nul. Ensuite, à desserte égale, le correctif croît rapidement avec la distance jusqu'à atteindre un maximum (à une distance où les modes lents ne sont plus attractifs) pour finalement diminuer (l'usage combiné des deux modes devient moins intéressant face à la voiture).

4.2 Les modes lents

Malgré la très grande densité de population vivant dans les centres urbains des moyennes et grandes villes, la part des travailleurs utilisant les modes lents reste relativement faible. Deux faits peuvent expliquer cela. Tout d'abord, vu la valeur élevée du rapport entre le nombre d'emplois dans les centres et la population y habitant importante, ces centres drainent de très nombreux travailleurs externes à l'agglomération. Par ailleurs, la population des centres n'est pas nécessairement qualifiée pour répondre aux emplois qui y sont localisés. Le facteur correctif s'applique donc dans 27 villes et a pour but de diminuer la part de l'usage des modes lents en leur centre. Il présente une valeur minimale au centre, croît linéairement avec l'éloignement, pour ne plus exercer d'influence à partir d'une distance donnée.

Figure 1. Courbe type des correctifs



5. Validation du modèle pour l'ensemble de la Wallonie

5.1 Coefficients de détermination

L'analyse statistique a été effectuée sur les résultats agrégés par secteur statistique selon une régression non linéaire pondérée en fonction de leur population (estimateur des moindres carré pondérés). Pour les bus, nous obtenons des coefficients de détermination de 58 % au lieu de résidence et de 56 % au lieu de travail. Ce sont de bons résultats. Ils démontrent la bonne prise en compte d'une partie des facteurs influençant le choix modal des bus. Pour les trains, les coefficients de détermination sont de 37 % au lieu de résidence et de 52 % au lieu de travail. Le résultat est jugé bon au lieu de travail et satisfaisant au lieu de résidence. Pour les modes lents, les coefficients de détermination sont de 43 % au lieu de résidence et de 30 % au lieu de travail. Le résultat est jugé bon au lieu de résidence et à peine satisfaisant au lieu de travail.

L'apparente faiblesse des coefficients de détermination doit être relativisée. Ceux-ci sont en effet influencés vers le bas pour deux raisons complémentaires :

- pour chaque mode alternatif à la voiture, les parts modales dépassent rarement les 20 % et sont même fréquemment inférieures à 10 % ;
- de nombreux secteurs statistiques comportant un très petit nombre d'individus, les parts modales associées à ces quartiers sont peu significatives.

Dès lors, les écarts entre valeurs attendues et valeurs observées sont par endroit importants. On peut toutefois supposer que l'application de la méthodologie à une région urbaine telle que celle de Bruxelles permettrait d'obtenir des coefficients de détermination plus élevés vu que les transports en commun y sont plus utilisés et les secteurs statistiques très denses.

5.2 Analyse spatiale des résidus

5.2.1 Les résidus relatifs aux bus

Le modèle actuel sous-estime la part du bus au cœur des principales agglomérations du sillon Sambre-et-Meuse et plus particulièrement dans celle de Liège au lieu de résidence. Pour les communes de l'agglomération de Liège, la surestimation oscille entre 4 et 8 %. Or, c'est dans ces espaces que l'offre en bus est la plus développée. En modifiant la valeur de certains paramètres, il devrait être possible de réduire les résidus négatifs.

A l'opposé, il apparaît une légère surestimation tant au lieu de résidence qu'au lieu de travail dans la plupart des communes rurales où l'offre en bus est quasi inexistante ou limitée à une simple desserte scolaire (Durbuy, Rouvroy, Lens ...). Dans quelques petites villes rurales, on constate aussi une légère surestimation. Ceci démontre la nécessité de modifier les équations de notre modèle afin que la part modale attendue lorsque l'offre en bus est nulle ou quasi nulle se rapproche de 0.

5.2.2 Les résidus relatifs aux modes lents

a) Au lieu de résidence

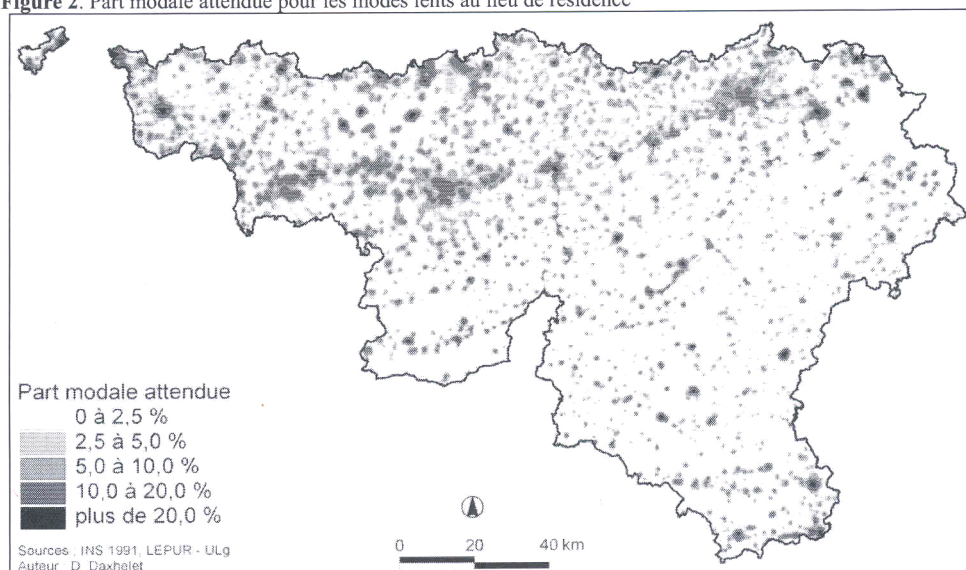
Le modèle actuel (figure 2) surestime la part des modes lents au lieu de résidence à la périphérie de Bruxelles, de Luxembourg et d'Aix-la-Chapelle (Waterloo, + 10 % ; Aubange, + 7 % ; La Calamine, + 4 %, ...). Cette surestimation est liée à la très forte proportion de

résidents qui travaillent hors Région wallonne. Elle pourrait être corrigée par la prise en compte de la population résidant au-delà des frontières.

A l'opposé, il apparaît une sous-estimation sensible de la part des modes lents au lieu de résidence dans de nombreuses communes rurales et petites villes en Ardenne, dans le Condroz liégeois et namurois, sur le plateau de Herve et dans le Hainaut occidental. Les petites cités situées dans des vallées encaissées sont souvent dans ce cas. Ceci pourrait indiquer que nous avons accordé une trop forte importance au facteur du relief et à la constante dans le quotient entre les deux potentiels de population dans le modèle.

Dans les grandes agglomérations du sillon, le modèle paraît par contre très robuste au lieu de résidence sauf pour Verviers et Colfontaine où la surestimation est de 3,5 %.

Figure 2. Part modale attendue pour les modes lents au lieu de résidence



b) Au lieu de travail

Le modèle actuel surestime la part des modes lents au lieu de travail dans quelques communes offrant de l'emploi très qualifié : par exemple Florennes et sa base aérienne (+ 7 %) ou Rixensart et sa biotechnologie (+ 2,5 %). De petites et grandes villes connaissent également une légère surestimation, surtout dans le sud du Luxembourg (Arlon, Virton et Libramont, + 3 %).

A l'opposé, les communes rurales exemptes de grandes entreprises, de grands équipements collectifs (hôpital, établissement d'enseignement supérieur, ...) et où l'essentiel de l'activité se trouve dans l'enseignement primaire et secondaire, l'administration locale, le petit commerce et les services de proximité, connaissent une importante sous-estimation de la part des modes lents au lieu de travail. Pour 48 de ces communes (accueillant peu de travailleurs), elle dépasse 10 %.

Des corrections seraient donc également utiles au lieu de travail. Cependant, il apparaît que l'usage des modes lents dans ce cas est fortement conditionné par la nature du travail. Trois modélisations seraient ainsi nécessaires pour 3 groupes d'activités :

- les secteurs ayant une aire de recrutement très locale (enseignement primaire et secondaire, administration locale, horeca, commerce de détail, ...);
- les secteurs à aire de recrutement très large (entreprises des biotechnologies ou des NTIC, banques, assurances, administrations fédérales et régionales, ...);
- les autres activités économiques à aire de recrutement moyenne.

5.2.3 Les résidus relatifs au train

a) Au lieu de résidence

Le modèle actuel (figure 3) sous-estime la part du train au lieu de résidence pour les communes des axes ferroviaires menant vers la capitale : Bruxelles-Liège (Berloz - 13 %), Bruxelles-Tournai (-9 % à Silly) et Bruxelles-Luxembourg (Tellin, - 11 %). Le phénomène se répète le long des lignes menant aux grandes villes wallonnes, spécialement entre 15 et 30 km de celles-ci (Chièvres ou Hamoir, - 8 %).

A l'opposé, on constate une surestimation sensible :

- à proximité de la ligne Ottignies -Leuven (Chaumont-Gistoux + 6 %);
- au sein des villes moyennes de Huy (+ 5%), Nivelles (+ 4 %) et Eupen (+ 3 %);
- dans la région du centre (Manage + 4 %, Soignies + 3 %).

Quelques communes situées loin de toute gare sont également confrontées à une légère surestimation de 2 à 3% (Celles).

Pour améliorer le modèle, il s'agirait donc :

- de modifier certains facteurs liés à la distance et au poids des diverses villes destinations (renforcer le poids de La Louvière et de Wavre);
- d'ajouter l'influence de Huy et Nivelles;
- d'intégrer un facteur correctif (>1) pour l'importance de la desserte des gares situées entre 15 et 30 km des grandes agglomérations, ...).

b) Au lieu de travail

Les résidus ont une moindre importance qu'au lieu de résidence. De fortes sous-estimations ne se rencontrent que dans deux cas :

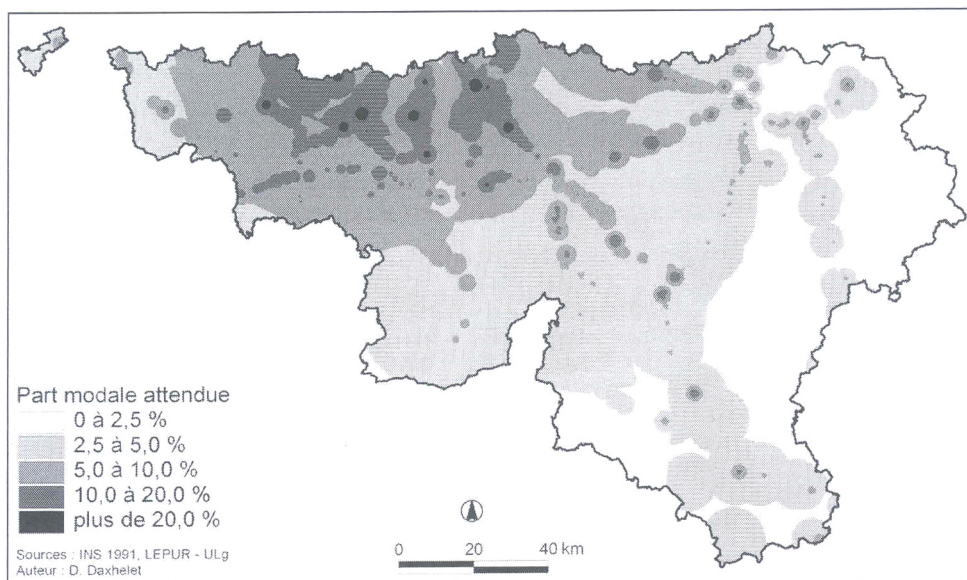
- les localités où les cheminots représentent une part importante des travailleurs (Liers ou Libramont, de - 6 à - 15 %);
- les localités desservies par une gare (ou à proximité) dans le Brabant wallon et ses alentours (Beuzet, Limal, Clabecq, ...).

A l'opposé, une légère surestimation (< 2%) s'observe dans trois cas :

- les localités éloignées de la moindre gare (canton de Saint-Vith, botte du Hainaut...);
- les localités situées aux 3 extrémités de la Région wallonne et desservies par une gare (Comines, Athus, Eupen);
- certaines localités des grandes agglomérations du sillon (anciennes communes de Dampremy, Boussu, Ougrée, ...).

Il s'avère dans ce cas moins nécessaire de modifier les équations de notre modèle. Néanmoins, il serait utile que la part modale attendue se rapproche de 0 lorsque l'on est très éloigné de la moindre gare.

Figure 3. Part modale attendue pour les trains au lieu de résidence



6. Conclusions

Les résultats présentés offrent des perspectives prometteuses en tant qu'outil d'aide à la décision pour une localisation idéale des activités et logements. Par ailleurs, les concepts et solutions présentés dans cet article permettraient de quantifier en terme de production de CO₂ toute modification dans l'utilisation du territoire. Dans cette optique prospective, il est cependant nécessaire de modéliser également la multimodalité train – bus – modes lents – voiture entre résidence et lieu de travail ainsi que les distances parcourues pour les modes motorisés. Par ailleurs, dans son état actuel, le modèle nécessite toujours certaines optimisations. La démarche adoptée, à caractère expérimental, nécessite de faire appel à des techniques numériques très élaborées. C'est pour cette raison que le LEPUR a entamé une collaboration avec le département d'informatique de l'ULg.

Références

- Bach, M., Fouchier, V., Theys, J. (sous la direction de) (1999). *Maîtriser l'étalement urbain : une première évaluation des politiques menées dans quatre pays (Angleterre, Norvège, Pays-Bas, Hong-Kong)* 2001 Plus, n°49, Centre de Prospective et de veille scientifique DRAST Ministère de l'Équipement, des transports et du Logement, Paris.
- Barthe-Batsalle, H., Brück, L., De Keersmaecker, M.-L., Georges, X., Halleux, J.-M., Lambotte, J.-M., Marechal, L., Rousseaux, V. (2002). *Les coûts de la désurbanisation*. Etudes et Documents - CPDT 1, Ministère de Région wallonne, DGATLP, Namur.
- Briquet, C. (2003). *Algorithmes de contournement de barrières*. Travail de fin d'étude dans le cadre d'un DEA d'informatique, ULg, inédit.

- CREAT-UCL, LEPUR-ULg (2004). *Rapport final de la subvention 2003-2004. Thème 2 : contribution du développement territorial à la réduction de l'effet de serre - partie 1*. MRW-CPDT.
- Halleux, J.-M., Brück, L., Mairy, N. (2002). "La périurbanisation résidentielle en Belgique à la lumière des contextes suisses et danois : enracinement, dynamiques centrifuges et régulations collectives". *BELGEO*. 4 : 333-354.
- Toint, Ph., Barette, Ph., Dessy, A. (2000). *Enquête nationale sur la mobilité des ménages (1998-1999). Contribution des la Région wallonne à l'enquête ménages*. Rapport final, Partie 2 Résultats.
- Van Raes, N., Cornelis, B., Donnay, J.P. (1998). *Decision support improving Public Transport*. Network.4th Design and Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning Conference, Maastricht, the Netherlands, July 26-29.