

On the Influence of Scale on Urban Planning Evaluations by LUTI models

Jones, Jonathan^{1,2}
Peeters, Dominique²
Thomas, Isabelle²

1 Corresponding Author jonathan.jones@uclouvain.be, +0032 10/47.82.96

2 Center for Operations Research and Econometrics, Université catholique de Louvain, Voie du Roman Pays, 34 1348 Louvain-La-Neuve, Belgique

Résumé : This paper aims to assess the sensitivity of Land Use and Transport Interactions (LUTI) models to the size of the Basic Spatial Units (BSU). Although the Modifiable Areal Unit Problem (and, in this case, its *scale effect* component) is not a new issue in geography, how it can bias the outcome of a LUTI model have remain largely unexplored. A simple, small-scale, synthetic city is used as case study, and its evolution simulated by a micro-simulation LUTI model (UrbanSim), for three different nested BSU. Moreover, since LUTI models are often used as decision tools by Metropolitan Planning Agency, the predicted effects of two different transport infrastructure improvements scenarios are examined in addition to a baseline scenario. The results show that variations in the model outcome induced by a change of the BSU are limited in amplitude, but with a strong spatial structure. Inter BSU variations can also be larger than Inter scenarios variations, meaning that the scale effect bias is should be studied more in-depth.

Mots-clés : LUTI models, Modifiable Areal Unit Problem

Introduction et Objectifs

Les modèles intégrant occupation du sol et transport (Land Use and Transport Interactions model – LUTI) font l'objet d'un intérêt croissant de la part des agences de planification territoriales, du fait qu'ils permettent de prédire les développements urbains/résidentiels et d'évaluer l'effet de diverses politiques de transport ou d'aménagement du territoire (Rodrigue, 2009). De tels modèles (MEPLAN, TRANUS ou UrbanSim, voir Dowling et al, 2005) ont été développés pour diverses zones métropolitaines aux Etats-Unis ou en Europe. Récemment, le projet de recherche européen *SustainCity*, dans le cadre duquel ce travail s'inscrit, a ainsi appliqué le modèle UrbanSim à trois villes européennes : Paris, Bruxelles et Zürich.

Bien que les modèles LUTI soient, par nature, spatiaux, leur sensibilité aux divers biais liés à la représentation de l'espace n'a pourtant été que très peu étudiée. Les biais spatiaux peuvent pourtant intervenir à de multiples niveaux dans les modèles LUTI (voir Thomas et al, 2013). En premier lieu dans la collecte et la préparation des données : les données individuelles doivent souvent être estimées au départ de données agrégées, qui ne sont elles-mêmes pas toujours toutes disponibles pour le niveau d'unité spatiales utilisés dans le modèle (ecological fallacy), ou ces données peuvent tout simplement ne pas être publiques. En deuxième lieu, les composantes économétriques du modèle peuvent être sensible à un changement de la taille des unités spatiales (Modifiable Areal Unit Problem), voire de la zone d'étude. En effet, les techniques d'économétrie spatiale développées pour contrôler ces biais spatiaux ne sont, généralement, pas implémentées dans les modèles LUTI (Rosenbaum et Koenig, 1997). D'un point de vue opérationnel, l'aspect le plus crucial est toutefois d'examiner si l'output du modèle, la situation prédite à la fin de la période de temps simulée, varie selon la manière dont l'espace est représenté, puisque c'est cette situation finale qui est utilisée pour évaluer l'effet de telle ou telle politique.

De telles analyses ont été menées pour plusieurs modèles d'automates cellulaire (Jenerette et Wu, 2001 ; Jantz et Goetz, 2005 ; Ménard et Marceau, 2005 et Kocabas et Dragicevic, 2006), concluant à chaque fois que la taille des pixels utilisés, et la forme du voisinage employé, ont un effet majeur sur l'output du modèle. De même, Chang et al (2002), Viegas et al (2009) ou Jeon et al (2012) ont montrés que la taille des unités spatiales utilisées comme origines/destinations influençaient le volume

et la longueur des flux prédit par un modèle transport. Il semble par contre qu'aucune analyses de ce type n'ait été réalisées pour un modèle LUTI complet, intégrant à la fois occupation du sol et transport. Pour répondre à cette lacune, ce travail vise donc à étudier l'influence des biais spatiaux sur les résultats prédits par un modèle LUTI. Nous nous limiterons ici à un type de biais spatial, l'effet d'échelle. Celui-ci, qui est l'une des composantes du Modifiable Areal Unit Problem (MAUP), englobe les effets dus à une variation de la taille des unités spatiales de base (Basic Spatial Units, ou BSU) du modèle. En particulier, nous tenterons de comparer les variations observées entre unités spatiales à celles induites par l'implémentation de deux scénarios d'amélioration du réseau de transport.

Ce travail cherche donc à tester les hypothèses suivantes : (1) la taille des unités spatiales de base utilisées dans un modèle LUTI influence-t-elle les prédictions faites par ce modèle ? (2) Et ces variations éventuelles sont-elles suffisantes que pour biaiser l'évaluation de diverses politiques de transport ou d'aménagement du territoire ? Pour y répondre, nous suivons la structure suivante : La méthodologie (modèle employé, cas d'étude et plan d'expérience) constitue la section 2. La sensibilité du modèle aux effets d'échelle est discutée dans la section 3, et l'influence sur l'évaluation de projets dans la section 4. Une conclusion résume les points principaux.

Méthodologie

Le Modèle

Le modèle LUTI employé ici est UrbanSim (voir Waddell et al, 2003 ; Waddell, 2011), couplé au modèle *MATsim* (voir www.matsim.org) pour la partie transport. Le choix de ces modèles a été dicté par le cadre de ce travail : le projet de recherche européen *SustainCity*, dont l'objectif était de faire progresser l'état de l'art des modèles de micro simulation appliqué à l'évaluation de politiques urbaines durables, en utilisant, précisément, ces deux modèles. Il s'agit toutefois d'un choix raisonnable. Tout deux sont des modèles avancés de micro – simulation, représentant l'état de l'art dans leurs domaines respectifs, et ayant fait l'objet de plusieurs applications opérationnelles (voir par exemple Waddell, 2002 ; de Palma et al., 2005 ou la *special issue* du *Journal of Transportation and Land Use*, Vol. 3, No°2 [summer 2010]) dès avant *SustainCity*.

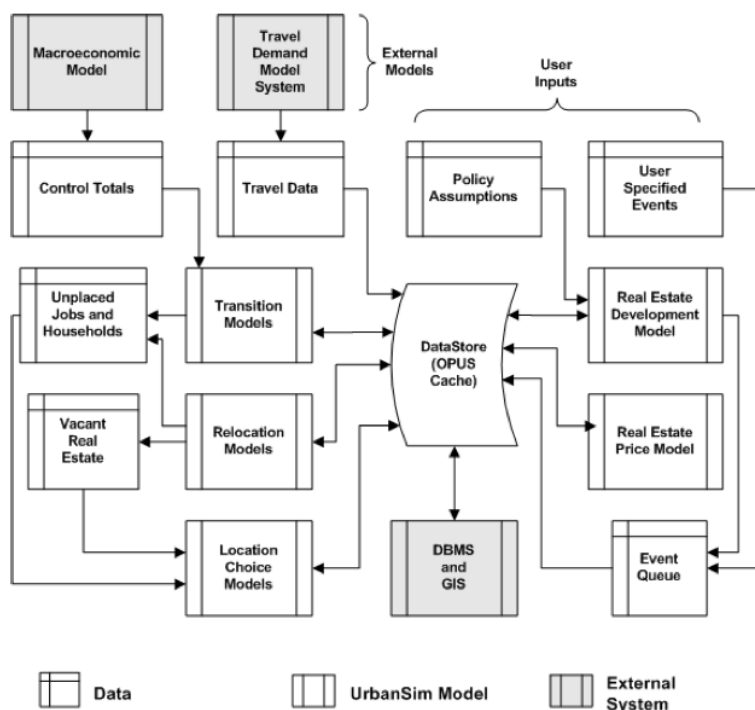


Figure 1 : Structure du modèle UrbanSim (source : CUSPA, 2010)

UrbanSim se base sur une représentation désagrégée des agents, c'est-à-dire que chaque ménage et chaque emploi présent dans la zone d'étude constitue un agent. Ces agents ont diverses caractéristiques intrinsèques. Par exemple, pour les ménages, nombre de personnes et de travailleurs, possession d'une voiture, etc... Pour les emplois, une seule caractéristique est intégrée, leur secteur d'activité. La zone d'étude est divisée en zones, correspondant typiquement à des unités administratives, et chaque agent est localisé dans l'une de ces unités spatiales.

La Figure 1 schématise le fonctionnement du modèle. A chaque itération, un pool de nouveaux agents (ménages et emplois), et d'agents se relocalisant est généré par tirage aléatoire sur les agents existants (*Transition et Relocation Models*). La taille de ce pool est déterminée par les taux de croissances et de relocalisation, qui sont exogènes au modèle (*Macroeconomic Model*). Pour distribuer ces agents « flottant », les *Location Choices Models* (modèle logit multinomial) calculent l'utilité de chaque zone, et distribue le pool d'agents entre les zones au pro rata de ces utilités. Enfin, pour terminer l'itération, les modules de prix de l'immobilier (*Real Estate Price Model*) et de transport (*Travel Demand Model System*, ici *MATsim*) calculent les valeurs de prix et d'accessibilités sur base de la nouvelle distribution des agents. Ces valeurs sont utilisées comme input pour le calcul des utilités dans l'itération suivante du modèle, et ainsi de suite.

Cas d'étude : une ville synthétique

Ce travail utilise un cas d'étude artificiel : une ville synthétique basée sur des hypothèses simples. L'usage de données synthétiques est commun dans l'étude du MAUP (voir par exemple Openshaw et Taylor, 1979 ; Amrhein, 1995). La raison principale est qu'elles permettent d'explorer l'effet du MAUP sur des données dont les relations entre elles sont connues (leur auto corrélation spatiale par exemple, voir Reynolds, 1998). Dans notre cas, l'usage d'une ville synthétique a de plus pour avantage de simplifier la mise en œuvre de l'analyse : la collecte de données détaillées sur la zone d'étude ne doit pas être réalisée, et la ville synthétique peut être limitée en taille, réduisant le temps de calcul nécessaire aux simulations.

Les hypothèses suivantes sont faites quant à la structure de cette « ville synthétique » :

- La zone d'étude est composée d'une grille de zones identiques (même taille et forme) et de nombre impair, de manière à n'avoir qu'une seule zone centrale, qui est supposée constituer le CBD. L'espace est donc homogène et isotrope, et la ville synthétique mono centrique.
- De même, les agents sont homogènes : exceptés pour leur localisation, tous les ménages sont identiques, et tous les emplois sont supposés membres d'un seul secteur d'activité.

En pratique, la ville synthétique consiste en une base de données, consistante avec les prés requis d'UrbanSim. Elle est générée selon le principe décrit par la Figure 2. Une série de paramètres doivent être fournis par l'utilisateur : la largeur/hauteur de la grille (qui détermine le nombre de zones divisant la ville), le nombre total de ménages et le taux d'activité (qui détermine le nombre total d'emplois) auxquels s'ajoutent les prévisions macro-économiques (taux de croissance et taux annuel de relocalisation) sur la population et les emplois requises par le modèle.

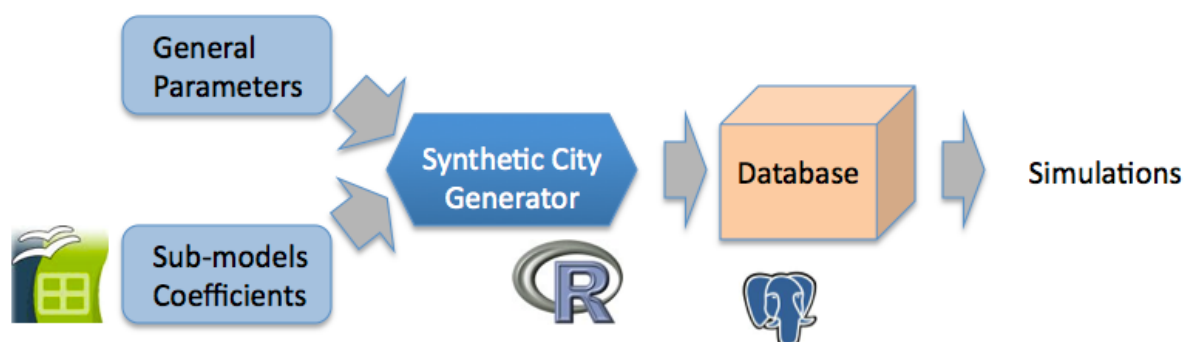


Figure 2 : Procédure de génération de la ville synthétique

Pour ce travail, la ville synthétique est constituée de 729 zones (27 x 27) et compte initialement 150 000 ménages et 224 994 emplois (correspondant au nombre total de personnes actives obtenues lors de la génération de ces ménages). Nous supposons également que la population et les emplois croissent de 1% par an. La distribution initiale des agents (ménages et emplois) est faite par une fonction d'utilité théorique, égale à (1) pour les ménages et (2) pour les emplois :

$$V_i = 1 - \frac{1}{1 + e^{-r \times DIST_i}} \quad (1)$$

$$V_i = e^{-r \times DIST_i} \quad (2)$$

Avec r un paramètre qui dépend du nombre de zones et $DIST_i$ la distance Manhattan entre le CBD et la zone i (ce type de distance a été choisi car il correspond à la structure du réseau routier de la ville synthétique, voir ci-dessous). Les agents sont ensuite distribués entre les zones au pro rata de ces utilités théoriques. En t_0 , les emplois sont donc fortement concentrés à proximité du CBD, tandis que les ménages s'étalent plus largement vers la périphérie (Figure 3). Cette distribution initiale des agents permet de calculer les valeurs des variables explicatives (densité de population et d'emplois, accessibilité aux emplois, etc.) utilisées dans les modules économétriques d'*UrbanSim* (modèle de prix des terrains et modèles de choix de localisation des agents).

Pour simuler l'évolution des prix de l'immobilier, *UrbanSim* utilise un modèle de régression log – linéaire estimé par OLS. Nous faisons ici l'hypothèse que les prix sont proportionnels à la densité de population et à la densité d'emplois. Pour ce qui est des choix de localisation, nous avons supposé que l'utilité des agents était proportionnelle à l'accessibilité aux emplois et inversement proportionnelle aux prix (le choix de ces variables est discuté plus bas). Par ailleurs, le modèle de choix de localisation est estimé sur base d'un échantillon représentant, en théorie, les agents s'étant relocalisé dans les 5 ou 10 années précédant le début de la période de simulation. Pour constituer cet échantillon, nous avons donc affecté des poids exogènes aux variables explicatives, pour calculer une pseudo - utilité initiale de chaque zone. L'échantillon nécessaire est ensuite tiré au sein des agents existant, pondéré par ces « pseudo utilités ». Enfin, le modèle de choix de localisation (régression logistique multinomiale avec échantillonnage aléatoire des alternatives, suivant le modèle proposé par McFadden, 1972) est estimé dans *UrbanSim* sur base de cet échantillon. Les paramètres estimés du modèle sont donc différents des poids définis par l'utilisateur, mais leurs signes sont (en théorie) identiques.

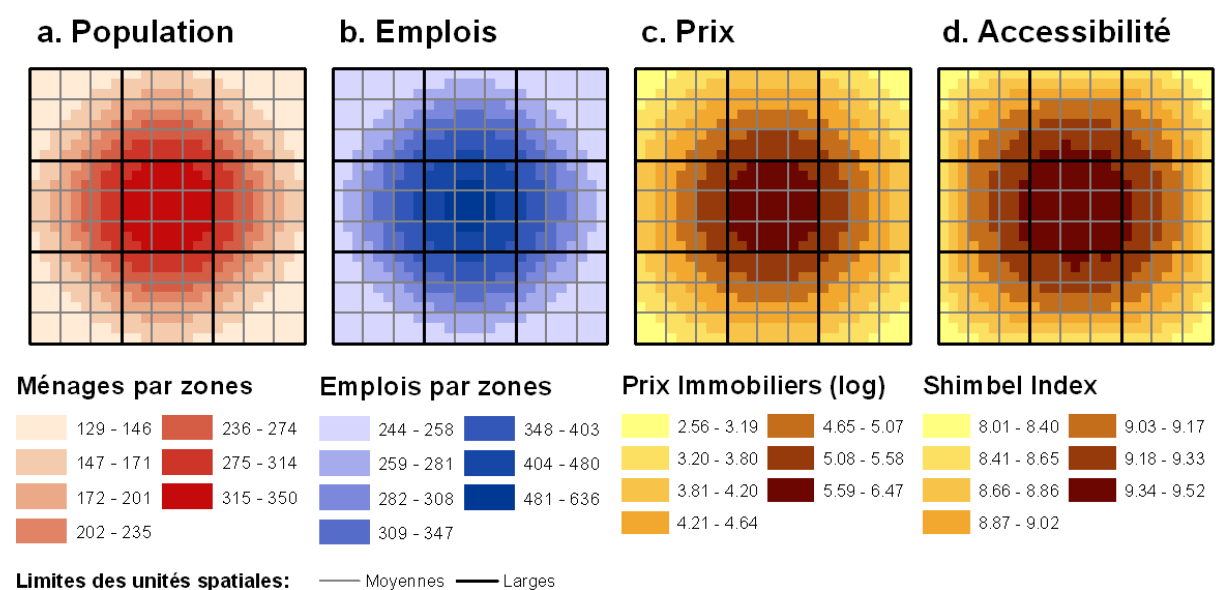


Figure 3 : Distribution initiale des agents et des variables explicatives des modèles de choix de localisation

Scénarios

Trois scénarios d'évolution sont définis pour la ville synthétique : « *tendanciel* », « *route express* » et « *autoroute* ». Le scénario tendanciel ne fait intervenir aucune modification des conditions initiales de la ville synthétique, et sert de référence. Le réseau routier correspondant est de type « Manhattan », c'est-à-dire que le centroïde de chaque zone est relié au centroïde des zones situées dans son voisinage de von Neumann. Tous les arcs routiers sont identiques : 1 bande de circulation dans chaque sens, vitesse maximale autorisée de 50 km/h. Les deux autres scénarios introduisent une modification du réseau routier initial. Dans le scénario « *route express* », les arcs radiaux partant du CBD (zone centrale de la grille) dans la direction des quatre points cardinaux sont transformés en voies rapides, ayant une vitesse maximale autorisée de 90 km/h, et 2 bandes de circulations dans chaque sens. Pour le scénario « *autoroute* », des arcs autoroutiers sont construits entre le CBD et 4 zones périphériques, située à une distance de 9 zones du CBD, dans la direction des points cardinaux. Ces arcs autoroutiers ont une vitesse maximale de 120 km/h et 3 bandes de circulations.

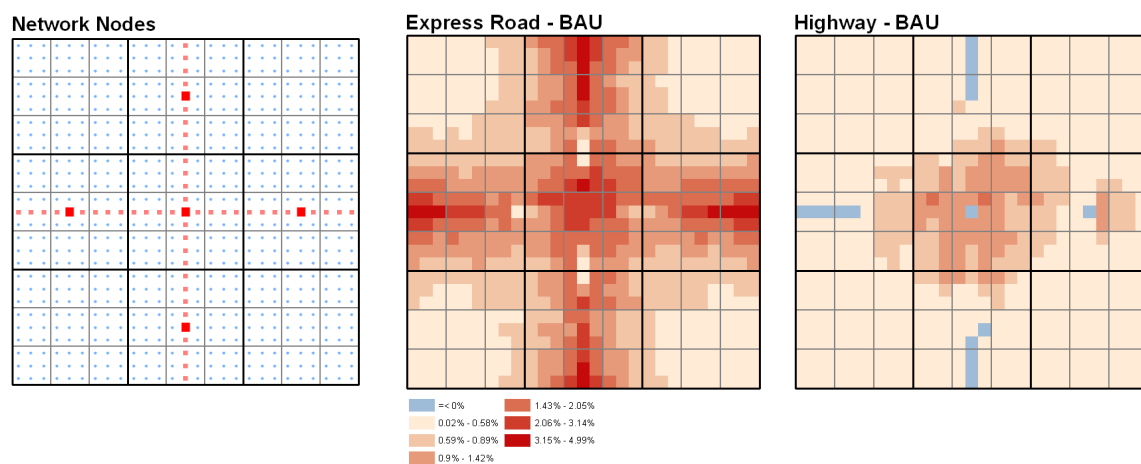


Figure 4 : Nœuds du réseau routier (bleu = routes normales, rose = routes express et rouge = autoroutes) et variations relatives de l'accessibilités aux emplois induites par l'implémentation des scénarios

La Figure 4 montre que le scénario « *route express* » amène une augmentation de l'accessibilité aux emplois le long des routes express, tandis que pour le scénario « *autoroute* » ce sont les zones proches du centre qui voient leur accessibilité augmenter. Vraisemblablement du fait que les navetteurs venant des zones périphériques utilisent désormais les axes autoroutiers, ce qui réduit la congestion sur les axes des zones centrales. Par rapport au scénario tendanciel, il est attendu que la mise en place de ces infrastructures de transport augmente le nombre final de ménages et d'emplois dans les zones qui gagnent en accessibilité. Notons que le nombre total de ménages étant fixe entre les 3 scénarios, cette augmentation doit se faire au détriments d'autres zones.

Plan d'expérience

La procédure décrite ci-dessus pour produire la ville synthétique est utilisée pour les unités spatiales « fines », c'est-à-dire les 729 zones de la grille. L'effet de la taille des unités spatiales sur les prédictions du modèle est évaluée en comparant l'output du modèle pour ces unités spatiales « fines » par rapport à celui obtenu en utilisant 81 zones « moyenne » (constituées chacune de 9 zones « fines » disposées en carré) et avec 9 zones « larges » (composées d'un carré de 81 zones « fines »). Les bordures de ces différentes unités spatiales sont illustrées sur la Figure 3. Les bases de données correspondant aux unités « moyennes » et « larges » sont obtenues en ré agrégeant la base de données des unités « fines » par une procédure deux étapes. En premier lieu, la localisation des agents est mise à jour en substituant, dans les tables de données correspondantes, l'identifiant des zones « fines » par l'identifiant de la zones « moyenne » ou « large » à laquelle appartient l'agent dans la ville agrégée.

En second lieu, les valeurs des variables explicatives de chaque zone agrégée sont calculées au départ des valeurs correspondantes des zones « fines », par sommes et moyennes.

Pour chacun des 9 cas obtenus (3 niveaux d'unités spatiales x 3 scénarios), l'évolution de la ville synthétique est simulée sur une période de 20 ans, avec un pas de temps d'un an pour *UrbanSim*, et de quatre ans pour *MATsim*. Le modèle étant partiellement stochastique (un échantillonnage aléatoire des agents intervient dans la constitution du pool d'agents se relocalisant, ainsi que pour l'estimation du module de transport), les simulations sont répétées 30 fois pour chacun de ces cas, pour tenir compte des variations entre chaque simulation.

Influence de la taille des unités spatiales

Sur les choix de localisation des agents

UrbanSim utilise un modèle de choix discret pour prédire les choix de localisations des agents. Bien que l'influence des effets d'échelle sur ce type de modèle ait été moins étudiée que pour les régression, il a été montré que les paramètres estimés de ces modèles varient avec la taille des unités spatiales (voir en particulier Carod & Antolin, 2004 ; Arauzo-Carod, 2008 et Thomas et al, 2013). Dans notre cas d'étude, il a été supposé que l'accessibilité aux emplois augmente l'utilité des ménages et que les prix de l'immobilier la diminuent. Ces deux variables présentant une structure spatiale similaire (Figure 3), un problème de multicollinéarité apparaît, et devrait être investigué plus profondément. Nous avons toutefois choisis de conserver cette spécification du modèle de choix de localisation. En effet, les prix permettent d'intégrer un effet de feedback sur l'occupation du sol, puisque les prix sont eux-mêmes fonction de la densité de population et d'emplois. Tandis que l'accessibilité aux emplois permet d'internaliser les effets d'un changement du réseau routier, et d'intégrer un feedback dans la composante transport (congestion).

*Tableau 1 : Paramètres estimés du modèle de choix de localisation des ménages (entre parenthèses : erreurs standard ; * = significatif à 5%).*

Variable	Unités spatiales		
	Fines	Moyennes	Larges
Prix (log)	-1,68* (0,02)	-0,53* (0,11)	1,24 (1,67)
Accessibilité	11,68* (0,16)	2,66* (0,77)	-10,38 (11,84)

Pour les unités spatiales « fines », il en résulte de cette spécification une structure en cloche : l'utilité pour les ménages est faible dans le centre (prix trop élevés), puis forte dans la « banlieue » (prix moyens et bonne accessibilité) avant de diminuer vers la périphérie (mauvaise accessibilité). Les variations des paramètres estimés observées entre unités spatiales (Tableau 1) amènent plusieurs observations. L'amplitude relative de ces variations est similaire entre les deux variables, et leur direction inversée. Notons aussi qu'elles sont monotones. Les variations entre unités spatiales « fines » et « moyenne » suffisent à modifier la structure spatiale des utilités. Le creux central de la structure en cloche s'élargit pour les unités « moyennes », ce qui fait que la probabilité que les ménages se localisent en périphérie est plus élevée que pour les unités « fines » (Figure 5). Pour les unités spatiales « larges », cet effet se renforce, mais les variables ne sont plus significatives à cause du trop faible nombre d'observations (9 zones « larges »).

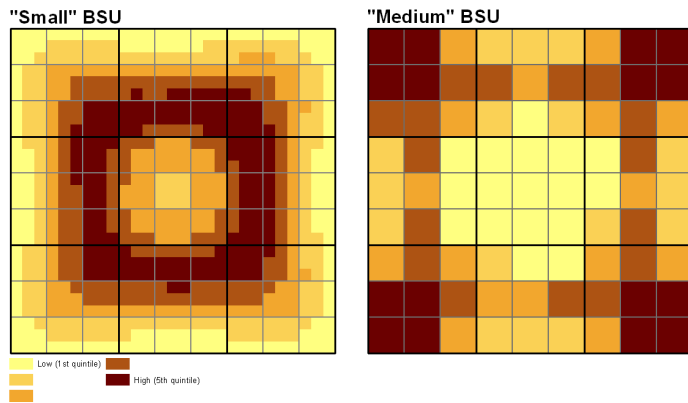


Figure 5 : Utilités prédites par le modèle de choix de localisation des ménages, pour les unités spatiales « fines » (gauche) et « moyennes » (droite). Discrétisation : quintiles.

Pour les emplois, un problème d'estimation apparaît : les coefficients ont un signe opposé à celui attendu. Observer un paramètre positif pour les prix est relativement courant dans l'estimation de modèles de choix de localisation (Anas et Chu, 1984), et témoigne souvent d'un problème d'endogénéité. Celui-ci n'a toutefois pas pu être corrigé dans la spécification actuelle de la ville synthétique. De plus, les 9 unités spatiales « larges » constituent un nombre d'observation trop faible pour obtenir des paramètres significatifs. Nous nous limiterons, dans la suite, à analyser les variations du nombre de ménages entre les unités « fines » et « moyennes ».

Sur les prédictions du modèle

Vu le fonctionnement du modèle, les différences décrites ci-dessus dans la structure spatiale des utilités perçues par les agents devraient faire varier les prédictions du modèle : Le nombre final d'agent dans une zone « moyenne » ne sera pas égal à la somme des agents présent dans les 9 zones « fines » qui la compose. Toutefois, avant d'examiner ces variations, il faut brièvement décrire l'évolution de la ville synthétique prédite par le modèle, pour vérifier sa vraisemblance. L'augmentation de la population au cours du temps (hausse de 1% par an du nombre de ménage) étant suffisante pour que toutes les zones présentent un solde positif. Les analyses ci-dessous sont donc basées sur la part de chaque zone dans le total des ménages.

Tableau 2 : Evolution (%) de la part des zones dans le total des ménages

Scénario	Unités spatiales « fines »			
	Minimum	Médiane	Moyenne	Maximum
Tendanciel	-33,1	-5,7	2,8	89,9
Route Express	-272	-5,4	-28,2	96,8
Autoroute	-275	-4,4	-28,2	96,7

Le tableau 2 résume l'évolution de cette variable. D'un point de vue spatial, ces variations présentent une structure forte (Figure 6), qui est cohérente avec les utilités prédites et avec les différences d'accessibilité aux emplois observées entre le scénario « tendanciel » et les scénarios « route express » et « autoroute ». Les variations relatives les plus importantes sont observées en périphérie de la ville synthétique (ces zones comptant peu de ménages, un faible variation du nombre absolu peut entraîner des variations relatives importantes). Ces résultats montrent que, pour les unités spatiales « fines », le modèle réagit de la façon attendue, c'est à dire que la part de la population augmente dans les zones qui, pour ces deux scénarios, gagnent en accessibilité par rapport au scénario tendanciel.

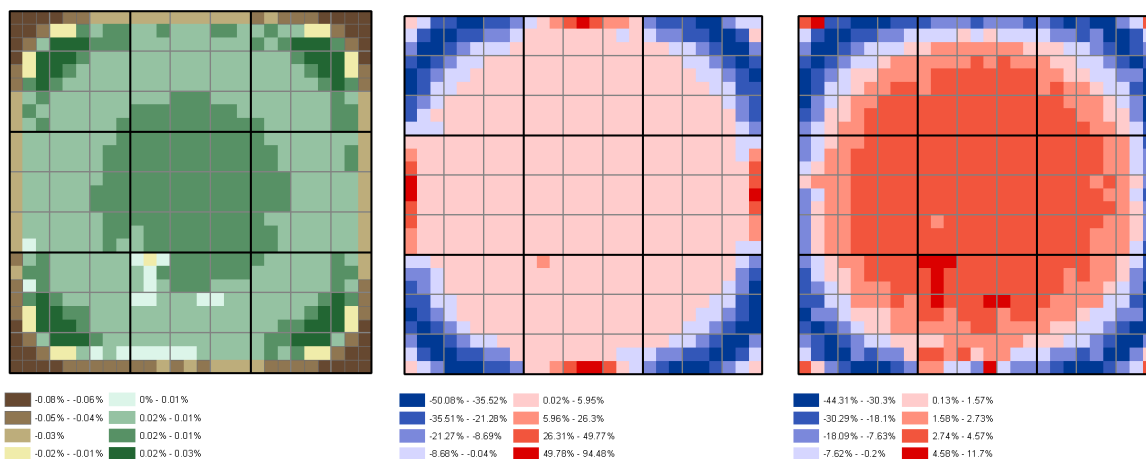


Figure 6 : Evolution de la part des ménages par zones pour le scénario tendanciel (gauche), et différences relatives observées pour le scénario « route express » (gauche) et le scénario « autoroute » (droite).

Lorsque ces résultats sont comparés à ceux obtenus pour les unités spatiales « moyennes », des différences apparaissent. Elles sont en moyennes faibles mais une forte structure spatiale apparaît (Figure 7). En particulier, la part des ménages situés dans les zones périphériques augmente lorsque le niveau d'agrégation augmente, ce qui est cohérent avec l'analyse faite pour les utilités. Les unités spatiales proches du centre présentent par contre une diminution de la part des ménages qu'elles représentent, mais avec des variations d'amplitude nettement plus faibles.

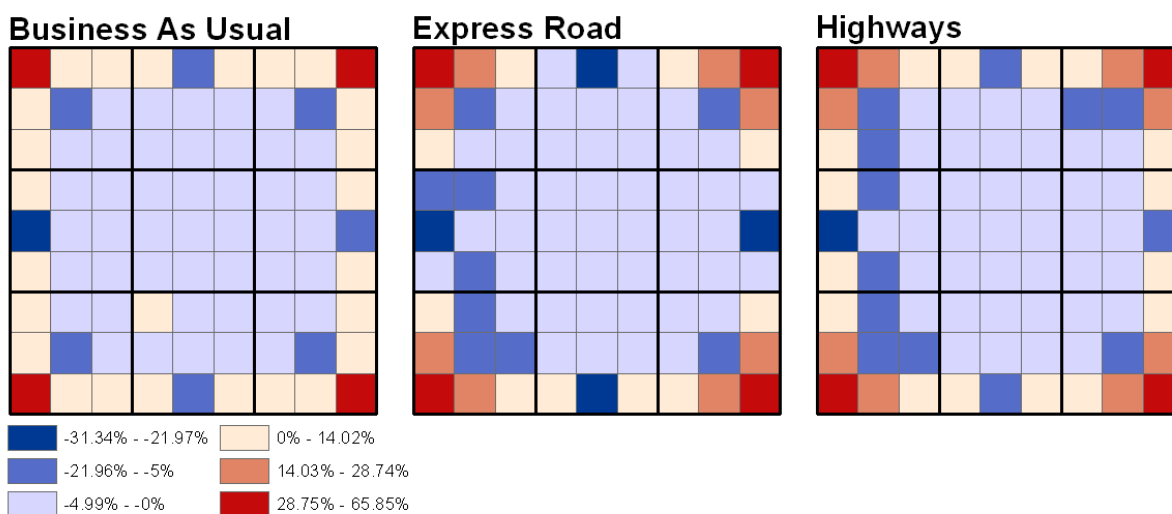


Figure 7 : Variations relatives de la part des ménages, après simulation, entre les unités spatiales « moyennes » et les unités « fines » réaggrégées

La structure spatiale observée pour les scénarios « route express » et « autoroute » est identique à celle décrite pour le scénario tendanciel, mais en plus accentuée. L'amplitude des variations de la part de chaque zone dans le total des ménages va en effet de -31 à +65% pour le scénario « route express » et de -14 à +63% pour le scénario « autoroute », contre seulement -14 à + 48% pour le scénario « tendanciel ».

Au final, un changement du niveau d'agrégation fait donc apparaître des différences nettes dans les prédictions du modèle, et ces variations semblent liées à celles observées dans les utilités prédites par le modèle de choix de localisation des ménages. Le changement d'unité spatiale implique des variations dans les paramètres estimés du modèle de choix discret, et dans la valeur des variables explicatives employées dans ce modèle. Additionnées l'une à l'autre, ces variations ont pour effet que

l'utilité calculée pour une zone « moyenne » donnée n'est pas identique (ni en terme absolu, ni en terme relatif) à la somme des utilités des zones « fines » la composant. Il en résulte des changements dans la manière dont le modèle distribue les agents d'une itération à l'autre et, *in fine*, dans les résultats prédits par le modèle.

Bien que les utilités prédites par un modèle de choix discret ne puissent être parfaitement comparées entre différents niveaux d'agrégations, il apparaît donc qu'une analyse exploratoire consistant à estimer les modèles de choix de localisation pour différentes unités spatiales avant de réaliser des simulations devrait permettre de contrôler ou, au minimum, d'estimer l'ampleur des variations qui peuvent être induites par le choix d'une unité spatiale plutôt qu'une autre.

Evaluation des scénarios

Le coût des infrastructures de transport proposées dans les scénarios « route express » et « autoroute » n'ayant pas été chiffré, il n'est pas possible de réaliser une analyse avantage – coût de ces deux scénarios. L'évaluation des scénarios est donc, dans l'état actuel, limitée à la comparaison de divers indicateurs simples de l'évolution de la ville synthétique. Idéalement, ces indicateurs devraient présenter de valeurs similaires quel que soient les unités spatiales utilisées dans le modèle. Dans le cas contraire, l'évaluation d'un projet d'infrastructure de transport ou d'aménagement du territoire réalisée au départ d'un modèle LUTI peut donner des résultats différents selon la taille des zones, ce qui constituerait un problème majeur dans les utilisations opérationnelles de ce type de modèle.

Les scénarios implémentés consistent en une amélioration du réseau de transport. Les effets attendus de ce type de scénarios ont fait l'objet de nombreuses publications (voir par exemple Rietveld, 1998 ; Oosterhaven et Knaap, 2003 ; Geurs et van Wee, 2004 ; Anas, 2010), l'intérêt d'une nouvelle infrastructure de transport apparaissant souvent plus limité lorsque les effets de feed backs sur l'occupation du sol sont pris en compte. Nous avons sélectionné ici deux indicateurs liés à l'occupation du sol dans le « centre », défini ici comme la zone centrale pour les unités spatiales « larges » : part des ménages situés dans ce « centre », et évolution des prix. Deux indicateurs liés au transport sont également utilisés : temps de trajet domicile – travail moyen et temps de trajet vers le CBD.

Tableau 4 : Influence d'un changement d'unité spatiale sur 4 indicateurs d'évaluation des scénarios

Indicateur	Scénario	Unités spatiales		
		Fines	Moyennes	Différence
Part de la population dans le centre (%)	BAU	18,76	18,57	-0,18
	Express	19,20	18,57	-0,63
	HGW	19,38	18,57	-0,81
Evolution des prix (log) dans le centre (%)	BAU	3,33	30,3	27,02
	Express	3,38	30,3	26,95
	HGW	3,38	29,7	26,32
Temps de trajet domicile – travail moyen (minutes)	BAU	32,93	28,13	-4,8
	Express	29,58	28,10	-1,48
	HGW	29,36	28,09	-1,27
Temps de trajet moyen vers le CBD (minutes)	BAU	25,84	20,56	-5,28
	Express	21,98	20,48	-1,5
	HGW	20,35	20,49	0,14

Le Tableau 4 montre la valeur de ces différents indicateurs à la fin de la période de simulation. A l'exception de l'évolution des prix, les différences entre les unités spatiales sont faibles en valeurs absolues, mais égales, ou supérieures, à celles observées entre scénarios. Notons que la plus forte augmentation des prix dans le « centre » observé pour les unités « moyennes » peut expliquer les différences visibles dans la Figure 6.

L'évaluation des scénarios ci-dessus ne permet pas de répondre formellement à la question « faut-il construire ces nouvelles infrastructures de transport », ni de dire si la réponse aurait été différente selon les unités spatiales utilisées dans le modèle. Les variations observées entre les indicateurs simples utilisés semblent toutefois suffisantes que pour confirmer que les effets d'échelle peuvent biaiser l'évaluation de scénarios basée sur les prédictions d'un modèle LUTI. Il sera donc nécessaire d'approfondir l'analyse faite ici.

Conclusion

Le but de ce travail était d'étudier l'influence des effets d'échelle sur les modèles LUTI. Au départ d'une ville synthétique simple, les résultats montrent que les variations observées dans les prédictions du modèle entre différentes unités spatiales sont en moyenne faibles, mais peuvent atteindre une amplitude non négligeable. Elles présentent de plus une structure spatiale forte. Bien que partielle, l'analyse faite sur quelques indicateurs simples d'évaluation des scénarios montre également des variations faibles mais non négligeables, puisque les variations de ces indicateurs sont du même ordre de grandeur entre les différentes unités spatiales qu'entre scénarios. En conclusion, le choix des unités spatiales apparaît comme une source de biais importante dans l'output d'un modèle LUTI, pour laquelle il n'existe pas de solution simple mais qui semble pouvoir être contrôlée ou, au moins, évaluée (dans le cas d'UrbanSim) par une analyse préliminaire des modèles de choix de localisation pour plusieurs unités spatiales.

Bibliographie

- ✓ Amrhein, C. G. (1995) *Searching for the Elusive Aggregation Effect : Evidence from Statistical Simulations*, Environment and Planning A, Vol. 27, pg. 105-125
- ✓ Anas, A. et Chu, C. (1984) *Discrete Choice Models and the Housing Price and Travel to Work Elasticities of Location Demand*, Journal of Urban Economics, Vol.1, No°1, pg. 107-123
- ✓ Anas, A. (2010) *Discovering the Efficiency of Urban Sprawl* in Handbook of Urban Economics and Planning, (ed.) Brooks, N., Donaghy, K et Knaap, G., Oxford University Press
- ✓ Arauzo-Carod, J. (2008) *Industrial Location at a Local Level : Comments on the Territorial Level of the Analysis*, Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie, Vol. 99 (2), pg. 193-208
- ✓ Carod, J. M. et Antolin, M. C. M. (2004) *Firm Size and Geographical Aggregation : an Empirical Appraisal in Industrial Location*, Small Business Economics, Vol. 22 (3-4), pg. 299-312
- ✓ Center for Urban Simulation and Policy Analysis, University of Washington (2010) *UrbanSim : Users Guide and Reference Manual*. Disponible sur www.urbansim.org
- ✓ Chang, K-T., Khatib, S-Y., Park, J. J. et Ou, Y. (2002) *Effect of zoning structure and network detail on traffic demand modeling*, Environment and Planning B, Vol. 29, pg. 37-52
- ✓ de Palma, A., Motamedi, K., Moyano, J., Nguyen-Luong, D. et Picard, N. (2005) *Development of a Dynamic Integrated Land Use – Transportation Model*, Proceedings of the 45th Congress of the European Regional Science Association, Amsterdam, 23-27 August
- ✓ Dowling, R (2005) *Predicting Air Quality Effects on Traffic Flow Improvements : Final Reports and User Guide*, Vol. 535, Transportation Research Board National Research
- ✓ Geurs, K. et van Wee, B. (2004) *Land Use/Transport Interactions Models as Tools for Sustainability Impact Assessment of Transport Investments : Review and Research Perspectives*, European Journal of Transport and Infrastructure, Vol. 4, no°3, pg. 333-355
- ✓ Kocabas, V. et Dragicevic, S. (2006) *Assessing Cellular Automata Model Behaviour Using a Sensitivity Analysis Approach*, Computers, Environment and Urban Systems
- ✓ Jantz, C. A. et Goetz, S. J. (2005) *Analysis of Scale Dependancies in an Urban Land-Use-Change Model*, International Journal of Geographical Information Science, vol. 19, No°2, pg. 217-241
- ✓ Jenerette, G. D. et WU, J. (2001) *Analysis and Simulation of Land Use Change in the Central Arizona – Phoenix Region*, Landscape Ecology, Vol. 16, pg. 611-626
- ✓ Jeon, J-H., Kho, S-Y., Park, J. J. and Kim, D-K (2012) *Effects of Spatial Aggregation Level on an Urban Transportation Planning Model*, KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 16, No°5, pg. 835-844
- ✓ Ménard, A. et Marceau, D. J. (2005) *Exploration of Spatial Scale Sensitivity in Geographic Cellular Automata*, Environment and Planning B : Planning and Design, Vol. 32, pg. 693-714
- ✓ Oosterhaven, J. et Knaap, T. (2003) *Spatial Economy Impacts of Transport Infrastructure Investments*, in Pearnan, A., Mackie, P. et Nellthorp, J. (ed.) *Transport Projects, Impacts and Policies : Evaluation Needs and Capabilities*, Asgate, Aldershot, 2003, pg. 87-1
- ✓ Openshaw, S. et Taylor, P. J. (1979) *A Million or so Correlation Coefficients : Three Experiments on the Modifiable Areal Unit Problem*, in N. Wrigley (ed.) *Statistical Applications in Social Sciences*, Plon, London
- ✓ Reynolds, H. D. (1998) *The Modifiable Areal Unit Problem : Empirical Analysis by Statistical Simulations*, PhD Thesis, University of Toronto
- ✓ Rietveld, P. en Bruinsma, F. (1998) *Is Transport Infrastructure Effective ? Transport Infrastructure and Accessibility : Impacts on the Space Economy*, Springer Verlag, Berlin
- ✓ Rodrigue, J-P., Comtois, C. et Slack, B. (2009) *The Geography of Transportation Systems*, Routledge
- ✓ Rosenbaum, A. M. & Koenig, B. E. (1997) *Evaluation of the modellings Tools for Assessing Land Use Policies and Strategies*, Technical Report Prepared for the Transportation and Market Incentives Group, United States Environmental Protection Agency
- ✓ Thomas, I., Peeters, D., Cotteels, C., Jones, J. et Pholo Bala, A. (2013) *Spatial Biases in LUTI Models and their Consequences. Some Illustrations with Brussels*, Proceedings of the BIVÉC-GIBET Transportation Research Days 2013 – Luxembourg, 30-31 Mai
- ✓ Viegas, J-M., Miguel Martinez, L. et Silva, E. A. (2009) *Effects of the Modifiable Areal Unit Problem on the Delineation of Traffic Analysis Zones*, Environment and Planning B, Vol. 36, pg. 626-643
- ✓ Waddell, P. (2002) *UrbanSim : Modelling Urban Development for Land Use, Transportation and Environmental Planning*, Journal of the American Planning Association, Vol. 68, No°3, pg. 297-314
- ✓ Waddell, P., Borning, A., Noth, M., Freier, N., Becke, M. et Ulfarsson, G. (2003) *Microsimulation of Urban Development and Location Choices : Design and Implementation of UrbanSim*, Networks and Spatial Economics, Vol. 3, No°1, pg. 43-67
- ✓ Waddell, P. (2011) *Integrated Land Use and Transportation Planning and Modelling : Addressing Challenges in Research and Practice*, Transport Reviews, Vol. 31, No°2 pg. 209-229