



HAL
open science

Modéliser les comportements pour étudier les mobilités urbaines

Jean-Philippe Antoni

► **To cite this version:**

Jean-Philippe Antoni. Modéliser les comportements pour étudier les mobilités urbaines. Ville Rail & Transports, 2012, pp.65-69. hal-00736459

HAL Id: hal-00736459

<https://hal.science/hal-00736459>

Submitted on 28 Sep 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Modéliser les comportements pour étudier les mobilités urbaines

Jean-Philippe Antoni

Laboratoire ThéMA
UMR 6049 – CNRS et Université de Franche-Comté
32 rue Mégevand - 25000 Besançon
jean-philippe.antoni@univ-fcomte.fr

Jean-Philippe Antoni est docteur en géographie, maître de conférences en aménagement de l'espace et en urbanisme à l'Université de Franche-Comté et chargé de cours à l'Université de Strasbourg. Ses principaux travaux concernent l'étude et la qualification des espaces urbains, tant sur le plan de leur forme que sur celui des mobilités quotidiennes et résidentielles qu'ils engendrent. Depuis 2007, il est responsable scientifique du programme MobiSim, outil de modélisation des interactions entre transport et urbanisation (modèle LUTI), développé au laboratoire de géographie théorique et quantitative ThéMA (Théoriser et modéliser pour aménager) du CNRS et de l'Université de Franche-Comté.

Le projet de simulation des mobilités MobiSim est développé depuis le début des années 2000 et a fait l'objet d'améliorations constantes, souvent initiées et financées par le Ministère de l'écologie et par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), notamment dans le cadre du PREDIT¹. Son objectif est double : d'une part, il s'agit de répondre aux problématiques et aux préoccupations actuelles sur les questions d'urbanisation et de politiques de transport et, d'autre part, de fournir un outil d'aide à la décision aux collectivités territoriales et aux aménageurs. Dans ce contexte, le projet MobiSim vise à explorer, par la modélisation, le lien entre la forme des villes et les mobilités quotidiennes et résidentielles qui y prennent place.

Les évolutions de MobiSim permettent aujourd'hui de le considérer dans le cadre relativement large de la modélisation urbanisation/transport, apparue aux Etats-Unis dans les années 1980 et plus récemment en Europe occidentale par l'intermédiaires de projets de recherches consacrés aux modèles LUTI (*Land-Use and Transport Integrated*), qui intègrent dans une même démarche la modélisation du transport et de l'urbanisation. MobiSim peut en effet s'assimiler à un modèle LUTI et apparaît comme un projet particulier et original pour trois raisons :

1. il intègre la dimension comportementale, au niveau individuel des habitants, des stratégies de mobilité quotidienne ainsi que des choix et des décisions en matière de mobilité résidentielle ;
2. il repose sur une résolution spatiale multiscalaire qui permet de dépasser le niveau agrégé des communes et des quartiers pour prendre en compte des processus qui interviennent à différentes échelles (de la ségrégation socio-spatiale aux émissions de polluants atmosphériques) ;
3. il fonctionne selon une dimension prospective qui ne se fonde pas sur un simple calage du modèle par rapport aux périodes antérieures (postdiction qui reproduit dans le futur ce que l'on sait du passé), mais permet d'introduire des scénarios complexes (modification de la structure urbaine, changements comportementaux, etc.) plus crédibles quant au développement des territoires.

¹ PREDIT : Programme de recherche, d'expérimentation et d'innovation dans les transports terrestres. Organisés en vagues, les PREDIT sont initiés et conduits par les ministères chargés de la recherche, des transports, de l'environnement et de l'industrie, et par l'ADEME.

Le modèle fonctionne à partir de données totalement désagrégées, condition *sine qua non* de l'approche comportementale retenue : les habitants sont considérés à l'échelle des individus et les aménités urbaines à celle des bâtiments. Cette originalité apparaît comme la clé de voûte de l'ensemble de la modélisation et confère à MobiSim une originalité qui le distingue fortement des modèles de transport et d'urbanisation agrégés classiques. Un aperçu du fonctionnement complet du modèle et des perspectives qu'il ouvre en termes de simulation des dynamiques urbaines est donné dans la première partie. La deuxième partie focalise ensuite plus spécifiquement sur la modélisation des mobilités quotidiennes (modèle de transport) et est illustrée par quelques exemples sur l'agglomération de Besançon.

1. Le modèle MobiSim

La modélisation proposée par MobiSim s'organise globalement en trois modules qui permettent de simuler des scénarios et d'en évaluer les conséquences au regard de critères actuellement considérés comme pertinents par rapport à la question du développement durable. Ces trois modules peuvent être présentés indépendamment les uns des autres, mais sont en réalité interconnectés, dans la mesure où la modification de l'un d'entre-eux influence nécessairement les deux autres : (1) construire un cadre agents/espace synthétique, (2) modéliser les mobilités quotidiennes et (3) modéliser les mobilités résidentielles (Figure 1).

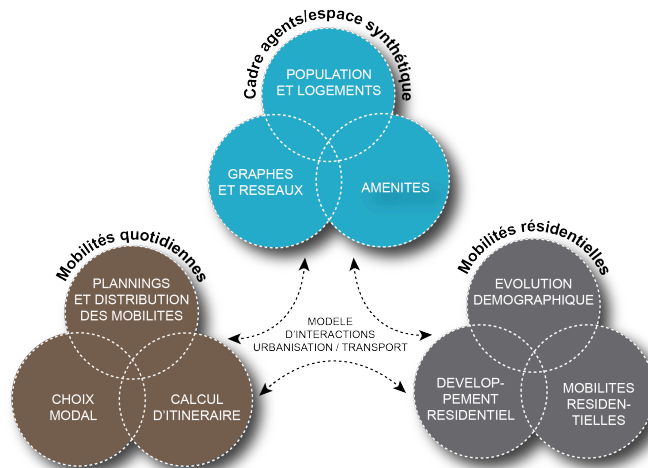


Schéma général du modèle

Figure 1

MobiSim s'organise en trois grands modules de simulation : la génération d'un cadre agent/espace synthétique qui donne un cadre à la modélisation, la modélisation de mobilités quotidiennes liée au planning d'activités des agents et à l'affectation du trafic sur les réseaux, la modélisation des mobilités quotidiennes qui permet de simuler les déménagement et la modification de la tâche urbaine là où s'implantent de nouveaux logements.

1.1. Construire un cadre “agents/espace” synthétique

Le premier module permet de générer une population d'agents réaliste sur le territoire étudié², ainsi qu'un environnement dans lequel ils peuvent évoluer et prendre des décisions. Cette population est dite « synthétique »³ parce qu'elle est reconstruite à l'aide de probabilités conditionnelles et

² Compte tenu des données qu'il utilise, MobiSim peut aujourd'hui être appliqué relativement facilement à n'importe quel territoire de l'espace français métropolitain.

³ Une population synthétique peut se définir comme une population artificielle composée d'individus auxquels sont associées des caractéristiques individuelles (niveau n), et construite à partir des données connues au niveau agrégé $n+1$ du recensement.

d'algorithmes d'affectation. Elle permet de considérer individuellement chaque habitant comme un « agent » en dépassant le niveau agrégé des données fournies par l'INSEE. Ces agents, dont les caractéristiques sont déduites du Recensement général de la population (RGP), sont regroupés en ménages ; ces ménages, dont le nombre et la taille sont calés sur les données démographiques, « récupèrent » des caractéristiques complémentaires, qui émergent du niveau individuel des agents (c'est le cas notamment pour le revenu des ménages, calculé à partir de la catégorie socioprofessionnelle des individus qui le composent).

La population d'agents est dynamique : elle évolue chaque année et peut se recomposer en fonction des événements qui affectent le cycle de vie des ménages (union, désunion, naissance d'un enfant, etc.) selon un principe équivalent à celui que propose le modèle Destinie (INSEE). L'environnement est quant à lui composé de bâtiments (résidentiels, commerciaux, industriels, administratifs) qui contiennent la population résidente, les emplois et les activités, ainsi que de réseaux de transport (routes et transport public) et d'aménités urbaines et périurbaines diverses, intégrant notamment les commerces, les services et les principaux centres de loisirs. La prise en compte de cet environnement requiert la BD-Topo⁴ de l'IGN ainsi que la base SIRENE⁵ de l'INSEE.

1.2. Modéliser les mobilités résidentielles

Le deuxième module permet de modéliser le développement du parc de logements et les déménagements que les ménages peuvent y effectuer, en lien avec leur satisfaction et leurs préférences résidentielles. Cette modélisation fait évidemment intervenir les caractéristiques de l'environnement en termes d'offre et de vacance résidentielles, d'aménités et d'accessibilité, mais tient également compte de la propension des ménages à déménager, qui dépend en grande partie de leur composition, de leurs caractéristiques et de leur cycle de vie. La modélisation repose alors sur un modèle *push-pull* qui évalue simultanément l'attraction des ménages pour un nouveau logement (*pull*) et leur propension à quitter celui qu'ils occupent (*push*).

Le parc de logements est intégré de manière dynamique dans le modèle : les nouvelles constructions peuvent être renseignées pour correspondre aux prévisions des Programmes locaux de l'habitat (PLH) ou générées par le modèle afin de répondre à une augmentation de la population et à une demande de logements croissante, en lien avec les préférences de ménages. Ces nouvelles constructions impactent alors la forme de la ville selon différentes modalités qu'il est également possible de simuler sous la forme de scénarios : urbanisation compacte, étalée, diffuse, etc. Ces scénarios peuvent être construits à partir de la lecture des Plans locaux d'urbanisme (PLU) ou générés à partir du logiciel de simulation de développement résidentiel Mup-City⁶, dont les résultats fournissent un *input* à MobiSim.

1.3. Modéliser les mobilités quotidiennes

Le troisième module vise à modéliser la mobilité quotidienne des agents dans leur environnement. Cette modélisation se base sur plusieurs opérations qui se réfèrent en premier lieu aux activités des agents et des ménages. A partir de ces activités, un « programme d'activités » peut être construit pour

⁴ Base de données de l'IGN. De précision métrique, elle contient une description des éléments du territoire, de ses infrastructures et de son occupation du sol. Elle s'organise en différents thèmes : réseaux de transport, hydrographie, bâtiments, végétation, etc.

⁵ SIRENE : Système d'identification du répertoire des entreprises et de leurs établissements. En France, les annuaires d'entreprises sont fondés sur le répertoire national d'identification des entreprises et des établissements connu sous le nom de SIRENE et géré par l'INSEE.

⁶ Développé au laboratoire ThéMA par C. Tannier, P. Frankhauser et G. Vuidel, Mup-City (*Multi-scale urban planning for a sustainable city*) est un outil qui permet de générer des scénarios d'urbanisation sur la base d'une modélisation fractale multiéchelle.

chaque agent. Les déplacements associés à ce programme sont alors simulés avec un modèle qui se rapproche des modèles de trafic classiques.

Cette succession d'opérations permet d'introduire dans MobiSim la question de la génération et de la distribution des déplacements, du choix modal et de l'affectation du trafic sur les différents réseaux, mais nécessite de modifier les modèles classiques de manière à les adapter aux données individuelles désagrégées de la population synthétique. C'est sur cette adaptation appliquée aux mobilités quotidiennes que focalise plus précisément la deuxième partie.

1.4. Des possibilités de simulation variées

Les trois modules présentés plus haut sont connectés et dépendants les uns des autres : l'accessibilité et les nuisances associées à la mobilité quotidienne, par exemple, modifient la qualité de vie et l'environnement résidentiel ; les migrations résidentielles modifient la répartition des flux et du trafic sur les routes et dans les réseaux de transport en commun, en même temps qu'elles changent la structure résidentielle de l'aire urbaine étudiée, etc. Pour être prise en compte dans MobiSim, cette connexion s'effectue selon un ordre qui distingue les phases d'initialisation du terrain d'étude, les phases de simulation de scénarios et les phases d'itération du modèle à plus ou moins long terme (horizon 2030 par exemple).

Au cours de chacune de ces phases (initialisation, modélisation, itération), il est possible de tenir compte d'inflexions ou de ruptures dans les scénarios simulés, les paramètres utilisés pour modéliser le comportement ou la répartition des agents pouvant être modifiés presque à tout moment. Ces modifications permettent d'introduire une logique de questionnement de type *What-if ?* (que se passerait-il si l'on faisait cela ?). Par exemple, à n'importe quelle étape de la modélisation, il est possible de modifier :

- le cadre agent/espace déterminé par le premier module en modifiant les caractéristiques de la population synthétique ou en introduisant de nouvelles infrastructures (rocade autoroutière, ligne de tramway, centre commercial, etc.) ;
- les mobilités résidentielles en modifiant le parc de logements existant ou les caractéristiques de l'environnement résidentiel, ou encore en simulant de nouveaux comportements liés par exemple à la recherche de nouvelles aménités ou à une volonté d'optimisation des conditions de déplacement ;
- les mobilités quotidiennes en introduisant de nouveaux comportements de mobilité (désynchronisation des agendas, report modal, sensibilité à la rupture de charge ou à la problématique du stationnement, etc.) ou en changeant les caractéristiques fonctionnelles (coût, confort, etc.) des réseaux de transport.

Les possibilités de simulations offertes par MobiSim proposent ainsi un cadre large pour construire des scénarios prospectifs et évaluer leurs conséquences sur le plan économique, social et environnemental du développement urbain, du système de transport et finalement de la qualité de vie des habitants.

2. Modéliser les mobilités quotidiennes : des exemples à Besançon

La modélisation des mobilités quotidiennes avec MobiSim s'inscrit globalement dans la démarche d'une modélisation à quatre étapes⁷ des mobilités. L'une de ses spécificités réside toutefois dans son caractère individu-centré, qui tient compte du comportement individuel et désagrégé des agents qui composent la population synthétique. Le logiciel permet ainsi (1) de définir le programme d'activités des agents et d'en déduire une distribution des mobilités, (2) de considérer le choix des modes de déplacements et finalement (3) d'affecter ces déplacements sur le réseau de routes ou de transport en commun.

Nombre de départ par jour pour le motif emploi

Flux réagrégés à la cellule (1000 m)

Communauté d'agglomération
du Grand Besançon

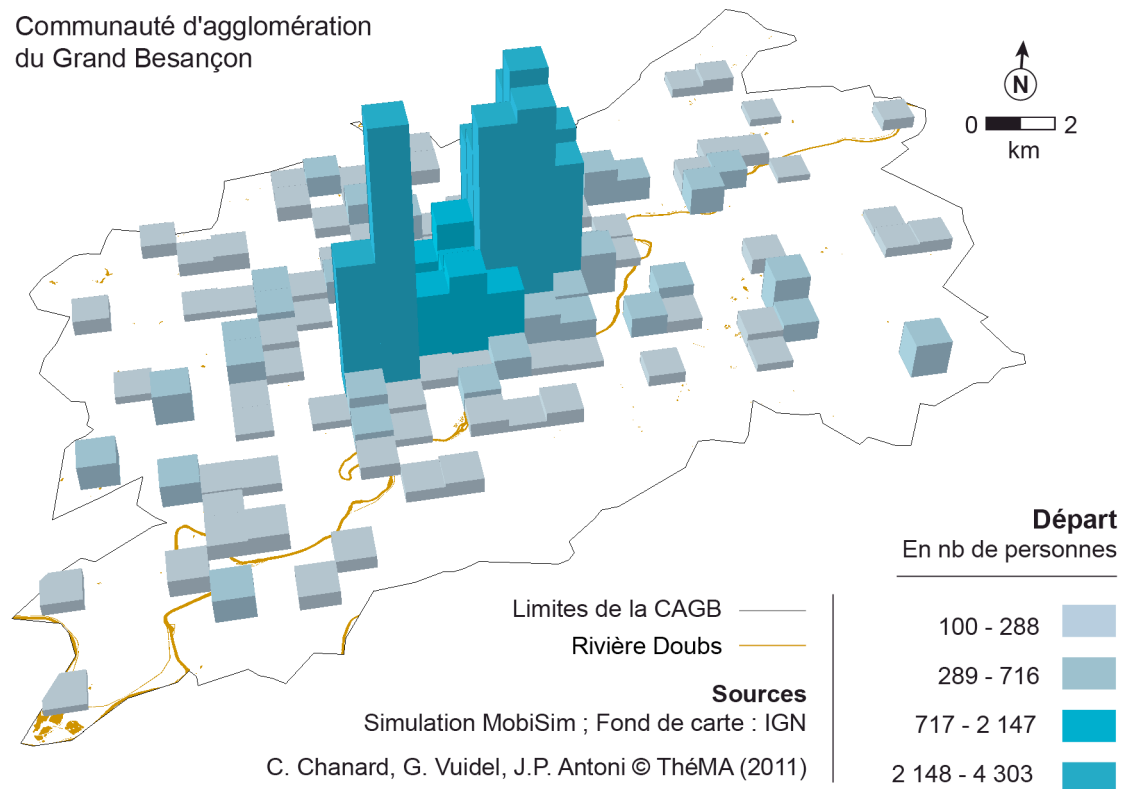


Figure 2

Les départs au travail sont plus importants dans les quartiers les plus peuplés d'actifs : le centre-ville et Planoise à l'Ouest de l'agglomération. Les lieux de départ sont multiples puisque ce motif peut être intégré dans une chaîne de déplacements.

2.1. Programme d'activité et mobilités quotidiennes

La distribution des flux de déplacement dans MobiSim se fait en deux grandes opérations. Premièrement, il s'agit de générer le programme d'activités des agents pour une journée, sachant que chacune de ces activités est soumise à un certain nombre de contraintes horaires. Ensuite, il s'agit de distribuer ces déplacements afin de relier le lieu de départ des agents (par exemple leur domicile) à leur lieu d'arrivée (par exemple leur lieu de travail) dans le cadre de ce programme. Le calcul de cette

⁷ Le modèle à quatre étapes est un modèle de référence pour la prévision de la demande de transport. Comme son nom l'indique, il se compose de quatre étapes supposées séquentielles et indépendantes : (1) La génération estime la demande de transport ; (2) La distribution calcule les liens entre lieux d'origine et de destination ; (3) Le choix modal estime la probabilité d'utilisation d'un mode de transport ou d'un autre ; (4) L'affectation permet d'estimer le trafic sur les réseaux de transport.

distribution se fonde sur un modèle gravitaire d'interaction spatiale, en l'occurrence le modèle de Huff.

Distribution des flux de déplacement

Motif emploi de jour

Flux réagrégés à la commune ou l'IRIS

Communauté d'agglomération
du Grand Besançon

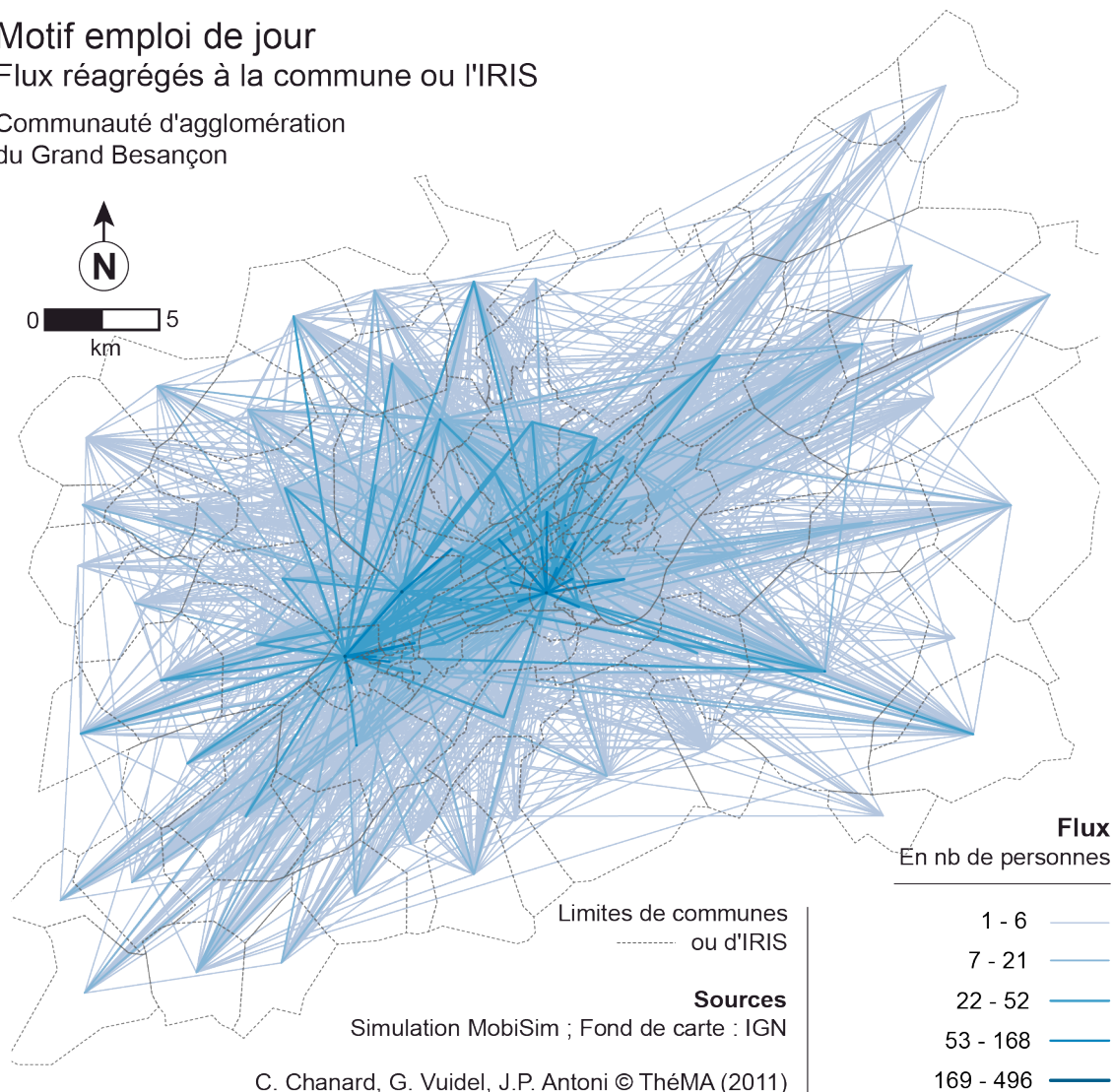


Figure 3

La carte, qui offre une image d'une matrice Origine-Destination, lie deux à deux les lieux d'où partent et les lieux où arrivent les agents lorsqu'ils effectuent un déplacement lié au motif « emploi ».

Ces deux opérations ne sont pas indépendantes du temps : elles sont calculées pour un jour ouvré standard et se succèdent au cours de cette journée selon une logique qui permet aux agents d'optimiser leurs activités et leurs déplacements dans le temps et dans l'espace. Cinq motifs de déplacements principaux (activités) sont aujourd'hui intégrés dans le modèle :

- le travail, motif qui concerne essentiellement la population d'actifs et qui génère des migrations domicile-travail régulières ;
- les études, motif qui concerne essentiellement les étudiants et les lycéens les jours de semaine ;
- les achats, motif qui concerne l'ensemble de la population, quotidiennement ou hebdomadairement, selon le type de commerces ou de services fréquentés ;

- les loisirs, dont la fréquentation, plus aléatoire, concerne également l'ensemble de la population ;
- la fréquentation du réseau social, qui permet à chaque agent de visiter sa famille ou ses amis, dans le cadre d'activités qui peuvent s'assimiler aux loisirs, mais n'ont pas nécessairement des commerces ou des services comme lieux de destination (visite au domicile).

Parallèlement, à ces motifs de déplacement principaux, le programme intègre les déplacements liés à l'accompagnement des enfants par les parents pour leurs activités scolaires ou de loisirs, ainsi que les pérégrination ou les chaînes de déplacement (typiques des achats effectués lors d'un déplacement conduisant vers un lieu de travail ou au retour vers le domicile). La figure 2 offre un exemple du nombre de déplacements (départs) générés par le motif « travail » sur la Communauté d'agglomération du Grand Besançon (CAGB). La figure 3 présente l'offre de travail sur le même espace. La figure 4 illustre la matrice Origine-Destination obtenue pour le même motif avec le modèle de Huff.

Déplacements liés au motif emploi

Voiture particulière (VP) et transports en commun (TC)

Communauté d'Agglomération
du Grand Besançon (CAGB)

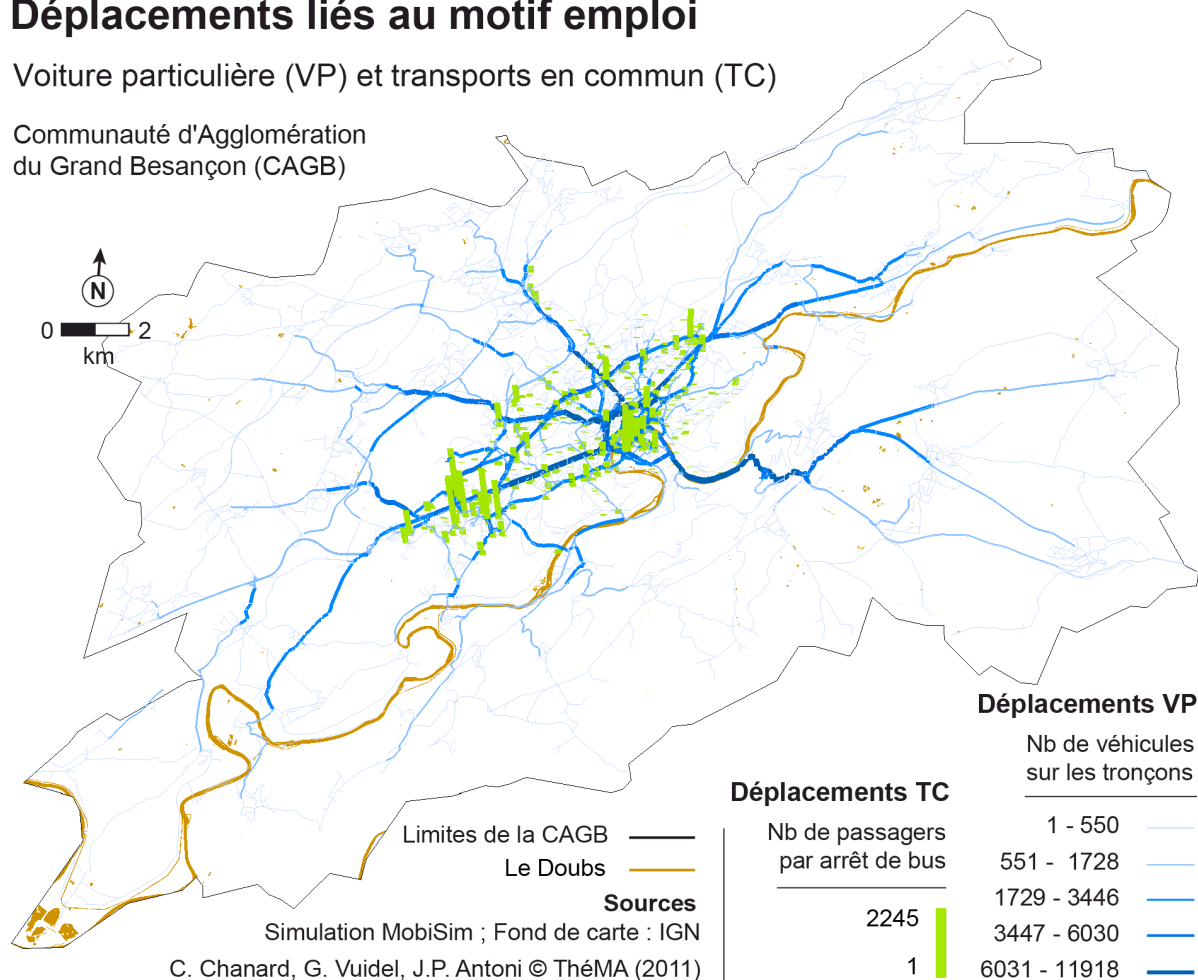


Figure 4

Les déplacements s'organisent de la périphérie vers le centre. Le centre-ville, à la fois lieu de vie et espace commerciale concentre la plupart des emplois, et donc également des déplacements, aussi bien en véhicules particuliers qu'en transports en commun.

2.2. Choix modal

Pour effectuer ces déplacements, trois mode de transport majeurs sont actuellement pris en compte dans MobiSim : la voiture particulière, les transports en commun et la marche à pied. Les agents privilégient l'un de ces trois modes en fonction du coût qu'ils impliquent compte tenu des trajets qu'ils

doivent effectuer, de leur contexte socio-familial (pérégrinations liées aux achats, aux loisirs et/ou à l'accompagnement d'enfants), du niveau de confort qu'ils souhaitent et de leur sensibilité aux problématiques environnementales et écologiques. Six facteurs sont pris en compte pour déterminer la probabilité de chaque agent de choisir un mode de déplacement ou un autre :

- le coût monétaire de chaque trajet pour chaque mode ;
- la valeur du temps de chaque agent ;
- le coût éventuel de stationnement des véhicules ;
- le taux de motorisation des agents, dont découle la captivité de certains agents ;
- leur sensibilité au confort associé à chaque mode ;
- leur sensibilité écologique.

Concrètement, MobiSim propose un modèle standard, mais paramétrable, pour implémenter différents scénarios. En entrée, l'utilisateur fournit un nombre limité de paramètres simples concernant les comportements de mobilité des agents (en fonction de leurs objectifs, de leur niveau de vie, de leur localisation, etc.). En sortie, le programme indique le mode de déplacement "choisi" par chaque agent, dont l'ensemble peut être visualisé en termes de part modales.

2.3. Itinéraire et évaluation du trafic

En dernier lieu, l'étape de calcul d'itinéraires consiste à déterminer le nombre de véhicules sur chaque tronçon de route ainsi que la charge en usagers du système de transport en commun. Il n'est utilisable qu'une fois les programmes d'activité et les mobilités des agents générés et leur choix modal connu.

Pour les agents qui utilisent les modes de transport individuels (l'automobile), le calcul de l'itinéraire entre le point de départ et le point d'arrivée de chaque agent se fonde sur l'algorithme de Dijkstra (algorithme du plus court chemin calculé ici en coûts généralisés). Le modèle complète ensuite le trajet initial des individus par une chaîne de déplacements, spécifique aux agents qui profitent de leur trajet domicile-travail ou domicile-étude pour satisfaire d'autres motifs (achats, loisirs, fréquentation du réseau social, etc.). Pour les « usagers » des transports collectifs, le calcul d'itinéraire est contraint par la structure du réseau de transport public, tel qu'il a été intégré dans MobiSim à partir des données fournies par les Autorités organisatrice de transport (AOT).

Pour ces deux systèmes de transports, les résultats obtenus (nombre de véhicule ou de personnes sur les tronçons ; Figure 5) permettent de déterminer le niveau de congestion des réseaux (embouteillage sur les routes ou surcharge des transports en commun) et le niveau d'émission des gaz à effet de serre. Parallèlement, cette estimation peut influencer l'itinéraire que choisiront les agents pour réduire leur temps de trajet ou le mode de transport qu'ils utiliseront pour se déplacer (rétroaction avec le choix modal).

Conclusion

L'une des options de développement du programme MobiSim a été de ne se fonder que sur des données relativement simples et disponibles pour l'ensemble du territoire national (hors données de calibrage et/ou de validation) : celles de l'INSEE et de l'IGN. Cette option permet aujourd'hui d'envisager l'application du modèle sur de nombreux terrains d'études (parmi lesquels Lille et Strasbourg sont pressentis comme particulièrement intéressants pour les simulations à venir) et de tester sa validité sur des espaces dont l'état initial, la structure sociodémographique et les possibilités de développement territorial diffèrent fortement. Cet exercice ne peut néanmoins trouver de pertinence réelle que s'il s'appuie sur une collaboration avec les collectivités en charge des territoires, dont l'expertise locale permet d'asseoir la cohérence des scénarios simulés et de faire de MobiSim un outil qui ne soit pas orienté uniquement par la recherche scientifique en transports et en urbanisme mais qui offre également une aide à la décision pour l'aménagement urbain et les politiques de transport.