

## La modélisation transport-urbanisme : de la théorie à la pratique



Dany Nguyen-Luong/IAU idf

**L'offre en modèles transport-urbanisme est aujourd'hui accaparée par les chercheurs à fin d'expérimentations et d'approfondissements théoriques. De multiples difficultés apparaissent lorsqu'il s'agit d'appliquer ces modèles sur des cas concrets d'infrastructures.**

Depuis le début des années 2000, la modélisation intégrée transport-urbanisme connaît un regain d'intérêt en France. Dans un contexte guidé par les principes du développement durable, les modèles Luti (*land use transport integrated*) ouvrent une nouvelle approche dans l'évaluation des projets d'infrastructures et de plans de transport.

### Qu'est-ce qu'un modèle transport-urbanisme ?

Littéralement, *land use/transport integrated model* signifie modèle intégré « occupation du sol-transport ». C'est un modèle qui permet simultanément de faire de la prévision de trafic, de localiser des ménages et des emplois et d'estimer des plus-values foncières et immobilières, le tout dans une approche intégrée et dans une perspective de long terme.

tème urbain. Par exemple, le modèle doit pouvoir simuler les choix concurrentiels de localisation des ménages et des entreprises qui vont arbitrer entre quatre familles de critères : accessibilité, proximité des aménités, effets d'agglomération et prix.

### Quand avoir recours à un modèle transport-urbanisme ?

Quels sont les effets à long terme de l'instauration d'un péage cordon dans une zone dense sur la relocalisation des entreprises et des ménages ? Quel est l'impact d'un projet de transport collectif d'envergure (type *nouveau Grand Paris*) sur l'attractivité résidentielle et économique des secteurs desservis par les nouvelles gares et sur l'augmentation des prix immobiliers ? Quel est l'effet sur l'attractivité résidentielle de la transformation d'une voie rapide en avenue urbaine ?

Un modèle de trafic classique ne pourra pas répondre à ces questions, alors qu'un modèle Luti pourra apporter des éléments de réponse. Ce dernier constitue donc un nouvel outil susceptible d'éclairer la décision et l'action publiques en permettant d'explorer un nouveau champ d'interrogations jusqu'à maintenant hermétique aux modèles de trafic classiques.

### Principes généraux des modèles Luti

Un modèle Luti est un produit issu du croisement de l'écono-

Contrairement aux modèles de trafic classiques qui nécessitent d'entrer des hypothèses sur l'occupation du sol, un modèle Luti calcule lui-même la répartition des populations et des emplois : ces données sont « endogénéisées ». Il simule l'effet de l'occupation du sol sur les trafics et, inversement, ce qui est nouveau, l'effet des trafics sur l'usage des sols et ceci sur une longue période, sachant que les effets d'un projet de transport sur l'urbanisation n'apparaissent qu'au bout de quelques dizaines d'années. Ces interdépendances entre système de transport et système urbain dans les processus de planification constituent le fondement des modèles intégrés transport-urbanisme, sans oublier les interdépendances au sein même du sys-

mie des transports et de l'économie urbaine. Schématiquement, on distingue deux grandes familles de modèles : les modèles statiques d'équilibre général et les modèles dynamiques<sup>(1)</sup>.

### Le modèle statique

Un modèle statique représente un équilibre de long terme entre le système urbain et le système de transport. Les représentants principaux de cette catégorie sont les modèles Mussa-Cube Land (créé par Martinez à Santiago du Chili), Tranus (créé par De la Barra au Venezuela), Relu-Tran (créé par Anas à Chicago), Pirandello (développé par Vinci, en France). Au sein du système urbain, un équilibre économique est recherché entre une offre de projets urbains (logements, bureaux) et une demande de localisation des ménages et des entreprises. La recherche du point fixe aboutit à une répartition spatiale des agents où chacun n'a plus d'utilité à se délocaliser.

### Le modèle dynamique

Un modèle dynamique fonctionne de manière plus réaliste, en intégrant la démographie des ménages et des entreprises (appelée « firmographie »), sans chercher à atteindre un équilibre et en procédant à un bouclage temporel avec le modèle de transport. Le professeur Wegener (université de Dortmund, Allemagne) explique que les dynamiques temporelles étant différentes d'un processus à l'autre (par exemple évolution lente des localisations résidentielles, évolution plus rapide des comportements de mobilité face à la congestion), le modèle dynamique permet de mieux prendre en compte cette différenciation des temporalités. L'interaction entre le modèle « *land use* » et le modèle de trafic se fait par l'intermédiaire de l'accessibilité. Cependant, un modèle dynamique tel qu'Urbansim nécessite de collecter un volume de données géolocalisées extrêmement important, d'autant plus que le niveau de « désagrégation » des

agents (ménages, entreprises, projets urbains) est élevé, que le niveau de l'échelle spatiale est fin et surtout si le mode de la microsimulation est choisi (c'est le cas d'Urbansim).

Le point commun à ces deux familles de modèle est l'utilisation de la théorie des choix discrets (McFadden, prix Nobel d'économie en 2000). Cette théorie, déjà utilisée pour modéliser le choix modal ou le choix d'itinéraire modélise des choix à partir d'un ensemble d'alternatives mutuellement exclusives. La probabilité qu'un agent choisisse une alternative particulière est donnée par la probabilité que l'utilité de cette alternative pour cet agent soit plus élevée que l'utilité de toutes les autres alternatives. Les modèles de choix discrets utilisent le principe de la maximisation de l'utilité. Ainsi, un ménage décidera de se localiser dans la zone (l'alternative) qui lui procure la plus forte utilité.

### La modélisation à l'heure française

En France, les modèles Luti ne sont pas encore utilisés dans le milieu professionnel. Ils restent l'apanage des chercheurs. Il y aurait pourtant de nombreux candidats potentiels, tous ceux qui utilisent déjà en routine les modèles de trafic pour l'évaluation socio-économique des projets d'infrastructures de transports : planificateurs, bureaux d'études, agences d'urbanisme, donneurs d'ordres (maîtres d'ouvrage et assistants à la maîtrise d'ouvrage), services techniques de l'État, services de transport et d'urbanisme des villes et des collectivités territoriales, exploitants et autres autorités organisatrices des transports. Il semble qu'il existe bien une demande de la part des décideurs, mais qu'elle ne parvient pas à s'exprimer formellement, faute d'une offre claire et compréhensible d'outils de modélisation Luti et surtout faute d'un cadre de travail officiel, admis et partagé. En effet, l'évaluation socio-économique des projets est for-

malisée en France par l'instruction cadre du 27 mai 2005 qui fait suite aux recommandations de juin 2001 du groupe d'experts présidé par M. Boiteux. Il n'y a pas obligation dans ce cadre à utiliser un modèle Luti mais seulement à calculer un taux de rentabilité interne (TRI) pour la collectivité qui repose essentiellement sur les gains de temps des usagers. Pourtant, tous les experts et décideurs sont conscients des limites du calcul socio-économique classique et de l'analyse coûts-avantages. La mise en exergue du TRI ne suffit plus à justifier un projet, aussi élevé soit ce taux, quand bien même on s'autorise quelques « ajustements » explicites, dans le sens le plus favorable, de la valeur du temps, des valeurs environnementales (bruit, pollution, gaz à effet de serre, sécurité) voire du coût d'investissement du projet (là c'est plus discuté). Afin de trouver de nouveaux avantages, Jean Poulit<sup>(2)</sup> a proposé de passer des gains de temps aux gains d'accessibilité, tandis que les Anglais ont élaboré une méthode de calcul des bénéfiques dits élargis (*wider economic benefits*) reposant sur des effets macro-économiques tels que les effets d'agglomération, de concurrence imparfaite, etc. Dans une approche multicritères, les sorties des modèles Luti sur les relocalisations et les prix apparaissent comme de nouveaux éléments de l'évaluation pour l'aide aux choix d'investissements.

### Une modélisation plutôt dans les mains des chercheurs ?

Même dans le monde de la recherche, il y a eu finalement assez peu d'expériences de modélisation Luti et d'applications. L'IAU Île-de-France et l'université de Cergy ont conduit, dans les années 2000, une recherche subventionnée par le Predit<sup>(3)</sup> sous le nom de Simaurif<sup>(4)</sup> sur la transposition à l'Île-de-France du modèle Urbansim. Cette première recherche a eu

deux prolongements, avec d'un côté le projet Plainsudd subventionné par l'ANR<sup>(5)</sup> Villes Durables en partenariat avec le LET<sup>(6)</sup> et Vinci, et de l'autre côté le projet SustainCity conduit par l'université de Cergy, l'ENS Cachan et l'Ifsttar<sup>(7)</sup> et qui vise à adapter Urbansim aux villes européennes. Le Certu<sup>(8)</sup> a tenté une application de Tranus sur Lyon à la fin des années 1990, avec des résultats mitigés, et une deuxième application est en cours sur Grenoble (projet Aetic), conduite par l'Iddri<sup>(9)</sup> et l'Inria<sup>(10)</sup>. Le LET continue à mettre en œuvre Urbansim sur Lyon dans le cadre du projet Simbad. Vinci a testé son outil stratégique Pirandello pour évaluer les effets de scénarios de péage cordon à Paris et à Lyon sur la relocalisation des ménages. Le LVMT<sup>(11)</sup> développe son propre modèle dans le cadre du projet ANR Aspect 2050, avec une focalisation sur le marché du logement. En 2013, a commencé une nouvelle recherche ANR Modèles numériques appelée CITIES, regroupant la plupart des acteurs français déjà en place (IAU ÎdF, Iddri, Ifsttar, Inria, LET, LVMT, Vinci) et deux concepteurs de

(1) On ne part pas de zéro, la littérature sur le sujet est prolifique. Le premier modèle statique intégrant le transport et l'occupation du sol de manière endogène date de 1963 (modèle de Lowry). Il y a eu ensuite les travaux d'Alonso (1964) sur la croissance urbaine, de Krugman (1985) sur la localisation des entreprises, de Fujita et Thisse (1989) sur la dynamique urbaine et les mécanismes d'enchères foncières, d'Arnott (2001) sur les villes monocentriques et polycentriques et, au début des années 2000, l'arrivée d'un nouveau modèle américain, de type dynamique, Urbansim, développé par le Pr Waddell.

(2) Ancien directeur régional de l'équipement d'Île-de-France.

(3) Programme de recherche et d'innovation dans les transports terrestres.

(4) Quatre rapports en ligne sur le site de l'IAU ÎdF : [www.iau-idf.fr](http://www.iau-idf.fr)

(5) Agence nationale de la recherche.

(6) Laboratoire d'économie des transports.

(7) Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux.

(8) Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques.

(9) Institut du développement durable et des relations internationales.

(10) Institut national de recherche en informatique et automatique.

(11) Laboratoire ville, mobilité, transport.

modèles existants (de la Barra et Waddell), le sujet portant sur le calage et la validation des modèles Luti qui constituent des verrous à la fois théoriques et méthodologiques. L'IAU Île-de-France, en sa qualité d'expert pluridisciplinaire de l'urbanisme, a un rôle naturel à jouer dans ce type de partenariat avec la recherche, où il peut servir de passeur entre les mondes académique et professionnel.

Ce n'est qu'en 2011 qu'a eu lieu le premier appel d'offres en France pour l'application d'un modèle intégré, lancé par la Société du Grand Paris (SGP), en vue d'évaluer l'intérêt socio-économique du réseau de transport Grand Paris Express. Ce sont principalement des laboratoires de recherche qui ont répondu et qui ont été sélectionnés. Deux lots concernaient directement la modélisation intégrée : d'une part l'estimation des effets de la réalisation du réseau Grand Paris Express sur la localisation des entreprises dans la région Île-de-France, d'autre part le calcul de l'incidence globale de la réalisation du réseau Grand Paris Express sur la localisation des emplois et de la population, ainsi que sur les valeurs foncières. Les modèles Mussa, Urbansim et Relu-Tran ont été proposés pour répondre à ces demandes par des équipes qui regroupaient des chercheurs et des praticiens. Au

final, les équipes, soumises à des délais extrêmement serrés, ont été confrontées à d'énormes difficultés d'application et à des contraintes techniques et méthodologiques.

### Sortir ces modèles du milieu académique

Côté connaissance théorique, les fondements de l'interaction occupation du sol et transport et les formulations micro ou macro-économiques ont déjà été largement étudiés et documentés en Île-de-France. Sur la localisation résidentielle, les résultats sont assez satisfaisants, même s'il reste des approfondissements possibles, par exemple sur la désagrégation du parc de logements par type et par taille et sur la segmentation fine des ménages. Sur la localisation des entreprises, les recherches sont moins avancées. Les déterminants de la localisation sont plus divers, l'hétérogénéité de l'offre et de la demande plus importante, les données sur les prix de l'immobilier d'entreprise beaucoup plus rares que les prix de l'immobilier résidentiel. Il manque un modèle pertinent et complet de l'offre de projets urbains (logement, bureaux, activités PME-PMI, équipements, commerces, plates-formes logistiques) tant pour les modèles statiques que pour les modèles dynamiques. Sur la « firmographie », les processus de création,

croissance, destruction d'emplois, fermeture sont encore mal modélisés, mais, en première approche, ce n'est pas un obstacle, car les modèles Luti peuvent se limiter pour l'instant à de la localisation, les autres données de la « firmographie » étant exogénéisées par des hypothèses globales de croissance au niveau régional. Par défaut, les sous-modèles de localisation affectent sans contrainte de capacité au sol, en « espaces de désir », le pendant de l'affectation en « lignes de désir » chère à la modélisation de trafic. Quant au sous-modèle de prix de l'immobilier, il est fondé sur un modèle de prix hédonique imprécis, qui ne distingue pas les différents types de parc immobilier.

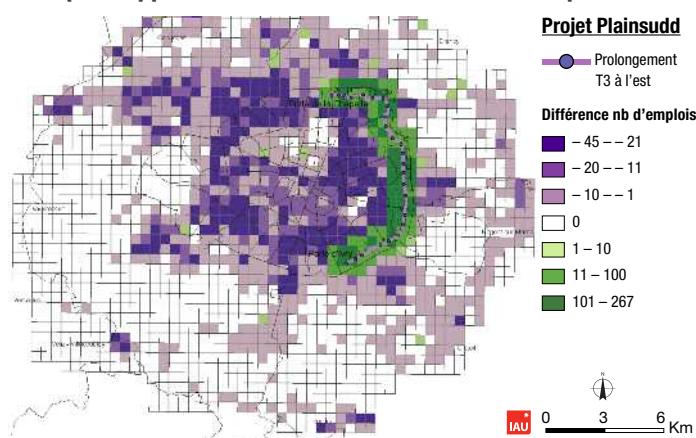
Au-delà de ces lacunes et défauts bien réels, on pourrait déjà se contenter des connaissances et données actuelles. Ce qui retarde aujourd'hui la diffusion de ces modèles dans le milieu professionnel, c'est d'abord la disponibilité d'un logiciel au sens commercial du terme, permettant une démarche complètement intégrée de la double modélisation de trafic et de l'occupation du sol. Il ne s'agit plus de connecter deux modèles existants conçus indépendamment l'un de l'autre puis de « bricoler » une interface entre les deux. Il s'agit d'agréger en un seul et même outil un modèle *land use*

et un modèle de trafic, avec un zonage commun et une échelle spatiale pertinente au regard des questions posées. Cet outil rassemblerait de nombreux avantages :

- une structure des motifs de déplacements cohérente avec les données d'occupation du sol : pourquoi prendre en compte un motif santé si les équipements sanitaire ne sont pas présents dans le modèle d'offre immobilière ?
- Une mise en concurrence entre ménages et entreprises pour l'occupation du sol.
- Un calcul automatique de l'accessibilité.
- Une interface utilisateur ergonomique permettant au chargé d'étude de construire des scénarios et de lancer « à la volée » sur son ordinateur de bureau des applications.

Le cahier des charges d'un tel modèle doit inclure la transférabilité d'une région à l'autre. Les outils tels qu'Urbansim et Relu-Tran sont encore réservés aux initiés et nécessitent à chaque application de repartir de zéro. Pirandello fait beaucoup parler de lui mais pour espérer le voir un jour installé sur les bureaux des praticiens, il lui faudra disposer d'une interface utilisateur et d'une documentation technique à la hauteur de ses ambitions. Mussa, qui a été racheté par l'éditeur Citilabs qui l'a

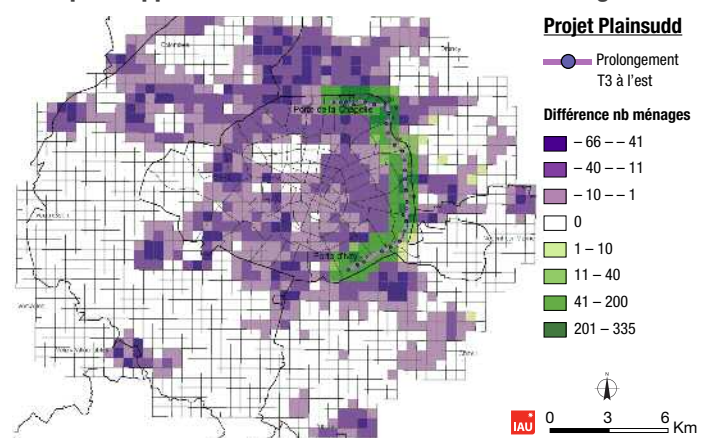
### Exemple d'application d'Urbansim : effets sur les emplois



**Prolongement T3 à l'est : différence de nombre d'emplois dans l'aire d'étude entre scénario avec et sans T3. Simulation par Simaurif 2.**

Dans le cadre du projet ANR Plainsudd, l'IAU îdF et Vinci ont proposé une évaluation comparée des modèles Urbansim et Pirandello sur deux études de cas : le prolongement du tramway T3 à Paris qui sera ouvert fin 2012 et le tram-train Massy-Évry dans l'Essonne prévu pour 2018. Ces cartes de différences entre scénarios avec et sans projet à l'horizon futur montrent un effet de polarisation très net des ménages et des emplois le long du prolongement du T3 dans un rayon de 750 mètres.

### Exemple d'application d'Urbansim : effets sur les ménages



**Prolongement T3 à l'est : différence de nombre de ménages dans l'aire d'étude entre scénario avec et sans T3. Simulation par Simaurif 2.**

renommé Cube Land, ouvre peut-être la voie à une démocratisation de la modélisation Luti car il est intégré à la plate-forme logicielle Cube bien connue des modélisateurs donc assez facilement implémentable, mais ses fondements théoriques sont complexes et difficilement compréhensibles, contrairement à ceux d'Urbansim par exemple. Il propose un nouveau type de modèle *land use* fondé sur la théorie du *bid choice* qui combine deux approches : la théorie des enchères et l'approche de l'utilité aléatoire. Un des intérêts majeurs est que les prix sont « endogénéisés » ; ils sont calculés et créés par le logiciel. En pratique, Mussa-Cube Land présente encore des faiblesses sur le modèle d'offre et n'a aucune référence en Europe, excepté la première application pour la Société du Grand Paris.

Enfin il faut évoquer le rôle essentiel de l'État dans le soutien des projets de recherche et développement en modélisation. Les subventions du Predit et de l'ANR ont été déterminantes ces dernières années pour permettre à des équipes françaises de recherche de se lancer dans des transpositions et applications d'outils Luti créés en Amérique. Cependant, si on excepte le modèle Pirandello né d'une initiative privée, l'absence d'un modèle français se fait cruellement sentir. Les besoins de financement sont alors d'une autre ampleur. Pour mettre au point un modèle intégré *ex nihilo* qui soit adapté au contexte des villes françaises, générique et orienté « utilis-

teur final », on peut estimer la base de départ à un million d'euros. Rappelons que, aux États-Unis, le professeur Waddell et son équipe ont reçu à la fin des années 1990 une subvention fédérale de plusieurs millions de dollars pour se lancer dans le développement d'Urbansim.

### Pour des logiciels prêts à l'emploi, rendez-vous dans dix ans

C'est une autre recherche appelée Ultisim<sup>(12)</sup> en 2010, menée par l'IAU Île-de-France, l'École polytechnique de Turin et le bureau néerlandais Significance, subventionnée par le Programme de recherche et d'innovation dans les transports terrestres (Predit) et l'autorité organisatrice des transports en Île-de-France (Stif), qui a mis en évidence les limites actuelles des modèles Luti et suggéré des recommandations qui permettraient une évolution favorable de la modélisation Luti. Une des recommandations est de renforcer le dialogue entre les ingénieurs-modélisateurs et les experts métiers de l'aménagement (démographes, économistes, spécialistes du logement, urbanistes, géographes). Les confrontations pluridisciplinaires permettraient d'échanger sur les méthodologies de diagnostic et de prospection élaborées par chaque expert métier, sur l'utilisation des modèles de simulations et sur leur intelligibilité. Au final, ces échanges devraient permettre de fournir des résultats à la fois plus réalistes et plus utiles à la décision. Ils seraient

aussi l'occasion d'élargir les perspectives d'application en dehors de l'Île-de-France et de l'agglomération de Lyon, en évaluant les besoins des différentes collectivités ainsi que les données dont elles disposent.

Ajoutons enfin qu'avec cette demande latente de modélisation transport-urbanisme interfère une demande patente et plus ancienne de prise en compte de l'interaction transport-environnement qu'il ne faut pas confondre avec la première. Un modèle de trafic classique peut tout à fait convenir pour répondre aux besoins de modélisation transport-environnement. On en est encore aux balbutiements de la modélisation Luti opérationnelle. N'oublions pas qu'il a fallu plus de trente ans avant que la modélisation de trafic classique se démocratise à grands pas avec l'arrivée des premiers logiciels commerciaux sous Windows (Visem/Visum, Cube ex Trips-MinUTP, Transcad, Emme, Davis). Les méthodes et pratiques doivent encore mûrir, l'interdisciplinarité doit progresser, les liens entre chercheurs et praticiens doivent se tisser davantage, le soutien financier de l'État ne doit pas faiblir, et il faudra sans doute encore une dizaine d'années avant de voir sur le marché les premiers logiciels Luti prêts à l'emploi.

Dany Nguyen-Luong ■

(12) Site Internet du projet : [www.iau-idf.fr/ultisim](http://www.iau-idf.fr/ultisim), rapport disponible sur le site [www.iau-idf.fr](http://www.iau-idf.fr).

### Pour en savoir plus

- NGUYEN-LUONG DANY, *Ultisim, Vers un modèle intégré transport-urbanisme européen. Première phase*, Paris, IAU ÎdF, août 2011.



[www.iau-idf.fr](http://www.iau-idf.fr)

- NGUYEN-LUONG DANY, *Évaluation de l'impact du T3 sur les prix de l'immobilier résidentiel*, Paris, IAU ÎdF, avril 2011.



[www.iau-idf.fr](http://www.iau-idf.fr)

Directeur de la publication : François Dugeny

Auteurs : Dany Nguyen-Luong  
Sous la direction de Élisabeth Gouvernal

Rédactrice en chef : Marie-Anne Portier  
Maquette : Annick Herpin  
Sous la direction de Frédéric Theulé

Diffusion par abonnement  
80 € par an (= 40 numéros) - 3 € le numéro  
Service diffusion-vente  
Tél. : 01 77 49 79 38  
15, rue Falguière 75015 Paris

ISSN 1967 - 2144

[www.iau-idf.fr](http://www.iau-idf.fr)