

Usages et progrès de la modélisation urbaine

Par Gérard HÉGRON

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

La ville est beaucoup plus que la somme de ses parties. C'est aussi un système ouvert, en proie à l'incertain. Pour appréhender cette complexité, la modélisation urbaine doit adopter une approche systémique qui intègre les différentes composantes en interaction. Cet article explore tour à tour les grandes tendances et les usages des modèles inhérents aux différentes étapes du développement urbain, à savoir les phases de planification, de conception, de construction et de gestion urbaines. Ce tour d'horizon fera apparaître des problématiques communes, telles l'approche multiéchelle, l'acquisition et la qualité des données, la validité des modèles, la représentation graphique des résultats et l'ergonomie des logiciels de modélisation. Les modèles apparaissent comme autant d'outils de diagnostic, d'évaluation *ex-ante* et *ex-post* de projets urbains ou de politiques publiques éclairant maîtres d'œuvre et maîtres d'ouvrage dans leur démarche de conception ou de prise de décision.

De la ville modèle aux modèles de la ville

La première tentation fut et reste parfois encore de vouloir concevoir La ville modèle, où le concepteur tel un demiurge dessine la forme et l'organisation sociale et économique de la ville à partir d'une vision idéaliste et utopique de la cité. Parmi ces représentations de la ville idéale, nous pensons notamment à l'ouvrage *Utopia*, de Thomas Moore (1516), dont le titre signifie « lieu qui n'est nulle part » et dans lequel l'auteur tente une esquisse de la société parfaite du socialisme scientifique. Nous pensons également à des utopies développées par des architectes et des urbanistes comme Le Corbusier, qui a conçu trois plans de villes idéales. La tentation pourrait être, aujourd'hui, de vouloir créer le modèle de « la ville durable ».

Mais la Charte d'Aalborg adoptée par les participants à la Conférence européenne sur les villes durables de 1994 est là pour nous rassurer : la ville modèle reste une utopie.

Les villes sont en effet le résultat d'un ensemble de facteurs combinés. Elles naissent et se développent dans des contextes historiques, géographiques, culturels, socio-économiques et politiques variés. Elles se transforment au gré de l'évolution des pratiques sociales, des technologies et des dynamiques géopolitiques. La ville devient l'œuvre non plus d'une autorité suprême (à laquelle Le Corbusier dédia sa ville radieuse), mais celle d'un ensemble d'acteurs associant la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre, les architectes et les urbanistes – sans oublier, bien sûr, les citoyens.

De la modélisation et des modèles

Lorsque nous parlons de modèles, nous faisons référence non seulement aux modèles mathématiques ou aux simulations numériques, mais aussi aux représentations symboliques et visuelles. Nous nous appuyons sur différents types de modèle en fonction de la nature des systèmes étudiés. Dans le cadre des environnements construits, nous faisons le plus souvent appel à des modèles qui décrivent les causes des phénomènes qui sont à l'œuvre. Leur complexité naît des interactions qui existent entre les différents milieux, entre l'environnement physique et la perception qu'en ont les habitants, et entre les différentes échelles spatiales et temporelles.

Dans le cadre des dynamiques urbaines, nous partons le plus souvent de l'observation des effets qui permettent d'établir des liens de corrélation ou au mieux de causalité entre les phénomènes observés (modèles phénoménologiques). Lorsque le système étudié est constitué d'un grand nombre de paramètres ou d'éléments en interaction (système complexe), nous nous trouvons généralement dans l'impossibilité de mettre le système en équations. Nous sommes alors conduits à effectuer une simulation du système étudié pour en observer le comportement (modèles dits discrets ou émergents).

La visualisation des données observées ou simulées est également très largement utilisée pour l'analyse et l'interprétation des phénomènes étudiés. Nous traiterons ici du domaine de la sémiologie graphique, qui concerne par exemple l'étude de la pertinence des représentations

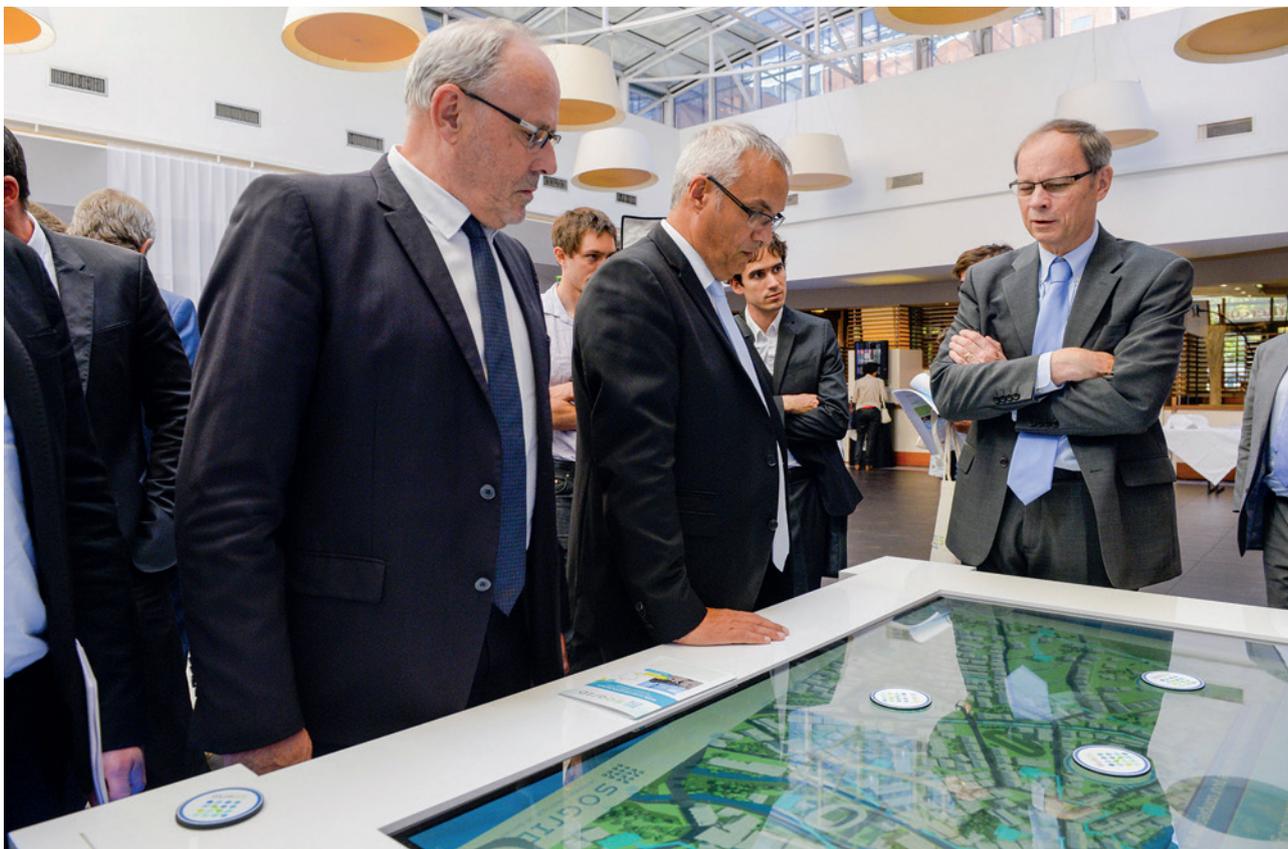


Photo © Lydie Lecarpentier/REA

Lancement de l'expérimentation du réseau électrique intelligent Sogrid à Toulouse, en présence de Gilles Gapy, directeur interrégional d'ERDF Sud-Ouest, de Jean Paoletti, directeur régional d'ERDF, et de Jean Tirole, président de Toulouse School of Economics.

« La ville devient l'œuvre d'un ensemble d'acteurs associant la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre, les architectes et les urbanistes – sans oublier, bien sûr, les citoyens. »

géographiques d'indicateurs (cartographies). Il s'agit bien ici d'un autre mode de modélisation de l'information (représentation graphique ou symbolique) qui doit faire sens commun pour l'ensemble des acteurs concernés.

En ville, tout est en interaction, tout fait système. Par conséquent, il ne s'agit plus d'analyser le milieu urbain de façon uniquement sectorielle, mais également d'envisager une approche systémique et interdisciplinaire. Nous parlons alors de modélisation intégrée, qui permet soit la mise au jour de modèles unifiés (en physique par exemple, voir les équations de Maxwell) soit l'intégration de modèles au sein d'une plate-forme de modélisation reproduisant les interactions entre les composantes d'un système.

Les grandes phases d'utilisation des modèles

L'usage des modèles peut intervenir dans les quatre phases principales du processus de la fabrique urbaine :

- la phase de **planification** : elle permet de prévoir l'évolution d'une ville au sein de son territoire et d'en dégager une organisation à long terme (dix ans ou plus). Plusieurs instruments existent, comme le plan local d'urbanisme (PLU), le plan de déplacement urbain (PDU) et le schéma de cohérence territoriale (SCOT).

- la phase de **conception** : il s'agit de concevoir un projet spécifique d'aménagement urbain, comme la conception d'un nouveau quartier, d'un nouveau réseau de transport (pistes cyclables, tramway, métro, gares...) ou d'espaces urbains (places, trames vertes...), qui repose sur un cahier des charges précis ;
- la phase de **construction** : une fois le choix d'un projet arrêté, il faut le réaliser en tenant compte des normes en vigueur et du contexte au sein duquel il se construit ;
- la phase de **gestion** : nous abordons ici la phase d'usage de la ville, celle où il faut savoir gouverner et gérer les flux matériels et immatériels de la ville en fonction de leurs externalités positives ou négatives (développement social et économique, impacts environnementaux, qualité de vie...).

Nous nous proposons maintenant d'explorer les problèmes et les tendances inhérents à chacune de ces phases.

Modélisation et planification urbaines

Les villes sont des systèmes ouverts, c'est-à-dire des systèmes qui interagissent en permanence avec leur environnement. Il s'agit donc de systèmes complexes (au sens d'Edgar Morin), dans lesquels nous devons savoir

gérer l'incertain en adoptant des stratégies basées sur la formulation d'hypothèses plausibles qui « ferment » les systèmes considérés. Lorsque l'on souhaite se projeter à moyen-long terme, on effectue d'abord un diagnostic de la situation, qui permet d'identifier et de quantifier les paramètres pertinents du système, puis l'on élabore des scénarios de l'évolution probable des déterminants du système. Leur évaluation permet alors d'observer certains invariants (  savoir des tendances lourdes communes à tous les scénarios), puis de les comparer pour faire des choix.

Dans le cadre de l'évaluation des PDU en termes d'impacts environnementaux et socio-économiques, des travaux ont par exemple montré la nécessité de disposer d'une plate-forme de modélisation permettant de combiner l'évaluation des flux de véhicules à celle des flux de polluants atmosphériques et des nuisances sonores résultant de la circulation afin de réduire les externalités négatives des politiques de transport et d'estimer leur influence sur l'évolution des valeurs immobilières et foncières (approche hédonique). Ces études mettent en évidence les fortes interactions qui sont à l'œuvre entre les différents processus, les rétroactions que les comportements des usagers induisent sur les flux de déplacements, la difficulté d'obtenir des données de qualité et des estimations fiables et l'usage intensif des systèmes d'information géographique pour la représentation visuelle des données spatialisées afin d'analyser les phénomènes et en communiquer les résultats.

Modélisation et conception urbaines

La conception urbaine permet d'imaginer les formes fonctionnelles et physiques des futurs infrastructures et espaces urbains, ainsi que leurs qualités d'usage et d'ambiance, en cohérence avec les enjeux du projet et du site au sein duquel il s'inscrit. La complexité des situations et des objectifs à atteindre conduit architectes et urbanistes à faire appel à des cabinets d'experts qui utilisent des outils de modélisation ou de simulation qui leur permettent de dimensionner les projets et d'évaluer leurs qualités ou performances écologiques, énergétiques et économiques. Les modèles utilisés sont le plus souvent sectoriels (réseaux, transports, bâtiment...). Pour rendre compte de la réalité systémique des milieux urbains, ces modèles doivent aujourd'hui conjuguer entre eux des phénomènes physiques, économiques, environnementaux et comportementaux.

Plusieurs tendances conduisent les outils de modélisation à opérer des changements en profondeur :

- l'analyse du cycle de vie des projets urbains devient essentielle pour établir un bilan complet des ressources nécessaires à leur construction, à leur usage et à leur maintenance (matériaux, énergie, coûts, etc.), ainsi que de leurs externalités positives et négatives (services éco-systémiques, pollutions et nuisances, recyclage des matériaux et des déchets...);
- la conception participative est au centre des enjeux de la conception urbaine contemporaine. Le développement

d'outils collaboratifs et plus interactifs est essentiel pour que l'ensemble des acteurs du projet urbain puissent dialoguer et interagir ;

- l'adaptation aux changements globaux et aux risques associés doit également être intégrée dans la phase de conception afin de renforcer la résilience et la sûreté des villes.

Modélisation et construction urbaines

La construction des composantes urbaines (bâtiments, infrastructures de transport, réseaux, etc.) doit respecter les qualités et les performances attendues : respect des normes, des performances énergétiques et des impacts environnementaux, etc. Des  co-comparateurs sont ainsi conçus pour la construction d'infrastructures routières et ferroviaires qui permettent :

- en phase amont de la construction, d'évaluer les impacts environnementaux de différentes solutions techniques alternatives,
- en phase de remise des offres, de proposer des solutions environnementales alternatives,
- en phase d'analyse des offres, d'éco-comparer en valeurs relatives le poids environnemental des différentes solutions techniques proposées par les entreprises,
- en phase aval de réalisation de l'ouvrage, de faire un bilan environnemental des travaux exécutés.

Afin de respecter les labels nationaux et internationaux, des processus similaires (dits de commissionnement) voient également le jour dans le domaine du bâtiment.

En phase de construction se développe également la notion de chantiers furtifs visant à intégrer des objectifs de développement durable en minorant les nuisances sensorielles et environnementales (bruit, poussiere, odeurs, vibrations), les problèmes d'accessibilité et de mobilité (encombrement et trafic du chantier, délais de mise en œuvre et de mise en service) et les risques (risques d'accidents, matières toxiques, effets secondaires, vibrations, déchets).

Modélisation et gestion urbaines

Les villes sont les théâtres de la production, de la consommation, de la transformation ou de l'échange de flux variés, dont l'évaluation est de la première importance pour aider à gérer la ville et maîtriser autant qu'il est possible son développement. Sans prétendre ici à l'exhaustivité, l'étude de ces flux est explorée dans bon nombre de domaines, notamment :

- le métabolisme urbain, qui est constitué de l'ensemble des flux de matières et d'énergie intervenant dans le cycle de vie d'une zone urbaine. La ville est vue ici comme une unité métabolique complexe, où l'on cherche à réguler un ensemble de flux entrants (matières premières, produits semi-finis, produits alimentaires, etc.), de transformations de ces entrées, et de flux sortants (produits manufacturés, déchets gazeux, liquides et solides, etc.).
- la mobilité urbaine, qui englobe tous les déplacements des personnes et des biens : elle est abordée en termes

d'aménagement des transports et du territoire et de conception de réseaux et d'infrastructures,

- la ville numérique, où sont gérés l'ensemble des services basés sur les technologies de l'information et les réseaux associés,
- les phénomènes physiques naturels et anthropiques où sont caractérisés et quantifiés les échanges de divers flux (eau, air, chaleur, énergie, bruit, polluants...) entre les différents milieux urbains, construits ou naturels,
- les phénomènes socio-économiques, comme les flux migratoires (intra- et interurbains), les flux financiers, l'évolution des transactions foncières et immobilières, etc.,
- la biodiversité urbaine, où sont observées la diversité des espèces et des écosystèmes, leur distribution et leur évolution à travers le temps et l'espace.

Pour chacun de ces domaines, la première difficulté consiste à observer en continu et à différentes échelles spatiales et temporelles les phénomènes qui sont à l'œuvre. Cette observation nécessite soit l'exploitation de données déjà disponibles (comme les informations provenant des téléphones mobiles pour modéliser les mobilités quotidiennes), soit le déploiement de capteurs qui prennent en temps réel le « pouls » de la ville.

Ces données sont ensuite traitées et exploitées en temps réel pour le *monitoring* des activités humaines (trafic, énergie...) ou, en temps différé, pour l'aide à la décision.

On aborde ici la problématique générale du « *Big data* », dans laquelle il s'agit d'aborder de nouveaux ordres de grandeur concernant la capture, la recherche, le partage, le stockage, l'analyse et la présentation des données. Les traitements sous-jacents posent un réel défi scientifique, que ce soit en matière de qualité des données, d'étalonnage et de validation des modèles, d'analyse de sensibilité des paramètres et de temps de calcul ou de facilité d'usage des résultats obtenus dans les processus d'aide à la décision.

De l'usage des modèles

Comme nous l'avons exprimé précédemment de différentes manières, tout système urbain est beaucoup plus que la somme de ses parties en interaction dynamique.

Toute politique d'aménagement ou tout projet urbain requiert, par conséquent, une approche systémique au sein de laquelle les modèles peuvent jouer un rôle d'éclairer, qui est essentiel pour vérifier la validité des hypothèses ou des idées premières formulées par les décideurs ou les aménageurs. Nous devons pour ce faire répondre à quelques questions préalables, à savoir :

- quels phénomènes ou quelles réalités sommes-nous capables de modéliser et d'évaluer ?
- existe-t-il des liens de causalité entre les phénomènes observés ?
- sommes-nous capables de prévoir, ou même, simplement, de mettre en place une stratégie ?
- à quelles phases du processus de développement urbain les modèles sont-ils le plus utiles ?
- on dit souvent « penser globalement et agir localement », mais la question n'est-elle pas de savoir quelle est l'échelle pertinente pour agir, puis quel levier doit-on actionner pour produire les meilleurs effets ?

Dans le cadre de la gouvernance et de l'aménagement urbain, nous savons que toute décision naît, le plus souvent, d'un compromis entre des considérations politiques, environnementales, sociales et économiques. Dans ce contexte, quel est alors le statut effectif du modèle :

- une aide pour se poser les bonnes questions et éviter des dysfonctionnements importants ?
- un outil de représentation, de dialogue et de communication entre les acteurs du projet ?
- ou alors, au mieux, un outil pour faire le meilleur choix entre différentes solutions ou scénarios possibles ?

Un modèle urbain est sans doute un peu tout cela à la fois. Les architectes et les politiques craignent parfois de se voir confisquer respectivement leur pouvoir de création ou de décision par le verdict du modèle, mais la complexité croissante des situations peut de moins en moins être résolue par le seul sens commun.