

# Simulation de formes réalistes de développement résidentiel, de l'échelle du bâtiment à celle de l'ensemble d'une région urbaine

---

Maxime Colomb

## RÉSUMÉ DE VULGARISATION

Mots-clefs : Simulation spatiale - Étalement urbain - Étude de variabilité - Aide à la décision - Urbanisme réglementaire

### Contexte thématique

L'étalement des agglomérations urbaines est un processus très critiqué pour de nombreuses raisons. Les dynamiques du développement résidentiel, principal facteur de cet étalement, sont très complexes car elles résultent de l'interaction de plusieurs sous-systèmes. De nombreuses lois et règlements sont supposés contrôler la construction des bâtiments afin de limiter les impacts négatifs de l'urbanisation.

LE SCHÉMA DE COHÉRENCE TERRITORIALE (SCOT) <sup>1</sup> regroupe et synthétise différentes politiques publiques concernant l'environnement, le transport, l'énergie ou l'habitat à un niveau métropolitain. Il est rédigé par le syndicat mixte qui regroupe les Établissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI) administrés, les services préfectoraux, régionaux et départementaux. Il peut imposer des contraintes de consommation foncière localisés ou définir des zones d'activités précises.

LE PROGRAMME LOCAL DE L'HABITAT (PLH) <sup>2</sup> a pour objectif de faire correspondre l'offre de logements aux besoins de la population au sein d'une intercommunalité. Il définit des objectifs en termes de création de logements, les localise dans les différentes communes qu'il administre et spécifie les types des logements et des bâtiments.

LE PLAN LOCAL D'URBANISME (PLU) <sup>3</sup> met en pratique le projet de développement durable au sein d'une commune en définissant les règles de constructibilité et d'occupation des sols. Le *règlement* fixe une série de contraintes codifiées sur différentes parties d'un *zonage* communal. La création des PLU revêt une importance particulière pour la régulation du développement résidentiel. Il est appliqué à une unique commune mais plusieurs PLU d'une même intercommunalité peuvent être regroupés au sein d'un unique PLU, appelé PLUi.

Des programmes de construction de logements complets, tel que les ORIENTATIONS D'AMÉNAGEMENT ET DE PROGRAMMATION (OAP) <sup>4</sup>, les LES ZONES D'AMÉNAGEMENT CONCERTÉ (ZAC) <sup>5</sup> ou les PROCÉDURE DE CRÉATION DE LOTISSEMENTS <sup>6</sup>, peuvent être spécialement définis pour encadrer la construction de zones précises. Ces outils de planification ont un cadre juridique et une application spécifique.

L'articulation de ces documents est extrêmement complexe. Premièrement, la plupart des documents d'urbanisme et de planification doivent traduire leur projet en règlements appliqués à un contexte spatial. Il n'est pas aisé de vérifier la cohérence entre le projet littéraire, les contraintes réglementaires et la spatialisation de ces contraintes. De même, l'efficacité de certains objectifs, tels que la réduction de consommation foncière, demeure difficile à apprécier. Elle doit pourtant être anticipée et évaluée, notamment via les études d'impact.

---

1. Code de l'urbanisme - art L141-1 à L144-1

2. Code de la construction et de l'habitation - art. L. 302-1 à L. 302-4-2

3. Code de l'urbanisme - art. L151-1 à 154-4

4. Code de l'urbanisme - art. L151-6 et L151-7-2

5. Code de l'urbanisme - art. L311-1 à L311-8

6. Code de l'urbanisme - art. L442-1 à L442-14

Ces difficultés sont amplifiées par la diversité des objets réglementés et la variété des échelles appréhendées. Par exemple, il semble délicat de déterminer comment rendre compatible<sup>7</sup> le zonage et les contraintes réglementaires d'un PLU avec les objectifs de réduction de la consommation foncière du SCoT, ou ceux de création de logements du PLH. De plus, l'adoption de l'intercommunalité comme échelle de référence par la plupart des métropoles françaises implique de conserver malgré tout une granularité intracommunale. Cela pose le défi technique d'appréhender, dans un cadre intercommunal, chaque situation communale particulière à une échelle fine.

Une vérification textuelle et comptable des mesures édictées par les documents d'aménagement de niveau régional ou d'agglomération pourrait être réalisée pour chaque commune. Néanmoins, elle omettrait des mécanismes, notamment celui de construction diffuse, et ne permettrait pas de représenter les développements résidentiels afin de juger de leur acceptabilité.

## Proposition de la thèse

Nous proposons dans cette thèse un modèle de simulation du développement résidentiel d'une agglomération urbaine, nommé *ArtiScales*. Il produit des configurations réalistes à partir d'une modélisation fine du territoire en respectant les orientations, les objectifs et les contraintes provenant des documents de planification et d'urbanisme. Comme les phénomènes intervenant dans cette problématique sont très variés et interviennent à des échelles différentes, nous élaborons un couplage de deux modèles de simulation spatiale pré-existants.

Le modèle développé s'intitule *ArtiScales* et intègre le modèle MUP-City, afin de sélectionner des emplacements intéressants à urbaniser relativement à la configuration bâtie actuelle et de divers points d'intérêt (réseaux de transports, commerces, services, etc.). Un *modèle de gestion parcellaire*, intitulé *Parcel Manager*, est développé afin de sélectionner les parcelles existantes intéressantes à urbaniser et de les recomposer aux besoins des scénarios et des situations particulières (densification, opérations spéciales). Pour chaque parcelle, nous utilisons ensuite le modèle SimPLU3D afin de simuler des bâtiments en trois dimensions respectant les contraintes réglementaires provenant du Plan Local de l'Urbanisme (PLU). Une attention toute particulière est portée à la variabilité des résultats de simulations provenant des différents modules d'*ArtiScales*. Nous avons proposé une méthode de classification de ces variations et in-fine, un processus de validation des résultats intermédiaires.

Le modèle *ArtiScales* (<https://github.com/ArtiScales/ArtiScales>) est disponible sous une licence ouverte et peut-être utilisé pour de nombreuses applications, tel que :

- Mesurer l'impact des modifications des contraintes réglementaires sur les projections de développement résidentiel,
- Simuler un ensemble de configurations résidentielles réglementaires, en modifiant :
  - les formes du développement résidentiel,
  - les zonages des documents locaux d'urbanisme des PLU et des cartes communales,
  - les objectifs de création de logements du PLH,
  - les règlements des PLU,
- Générer automatiquement des cartes communales.

Ces opérations peuvent particulièrement être intéressantes dans le cadre de l'élaboration d'un PLU intercommunal.

## Apports scientifique

La création du modèle *ArtiScales* est bien entendu l'apport principal de cette thèse. *ArtiScales* permet de simuler un ensemble de développements résidentiels respectant les contraintes *opposables* des documents locaux d'urbanisme et matérialisant les objectifs et préconisations des documents régionaux de planification. Les simulations réalisées permettent donc de représenter un développement résidentiel plausible et se conformant à toutes les réglementations en vigueur. Quand ces objectifs ne peuvent être atteints, le modèle est en mesure de proposer des modifications plus ou moins envisageables. La volonté de rendre opérationnel ce modèle théorique a été un objectif dès le début de la thèse. Nous avons donc eu un partenariat soutenu de co-conception du modèle avec le service urbanisme de la communauté d'agglomération du Grand Besançon. Une telle méthode de conception est assez originale parmi les nombreux modèles de simulation spatiale.

La méthode de couplage mise en œuvre pour créer *ArtiScales* est également un apport de cette thèse. *ArtiScales* intègre des modèles très différents, tant dans leurs fonctionnements, leurs hypothèses que dans l'échelle à laquelle ils opèrent. Cette intégration est réalisée au moyen d'un module de gestion parcellaire appelé *Parcel Manager*, qui pourrait tout à fait être réutilisé par ailleurs pour de différents projets.

---

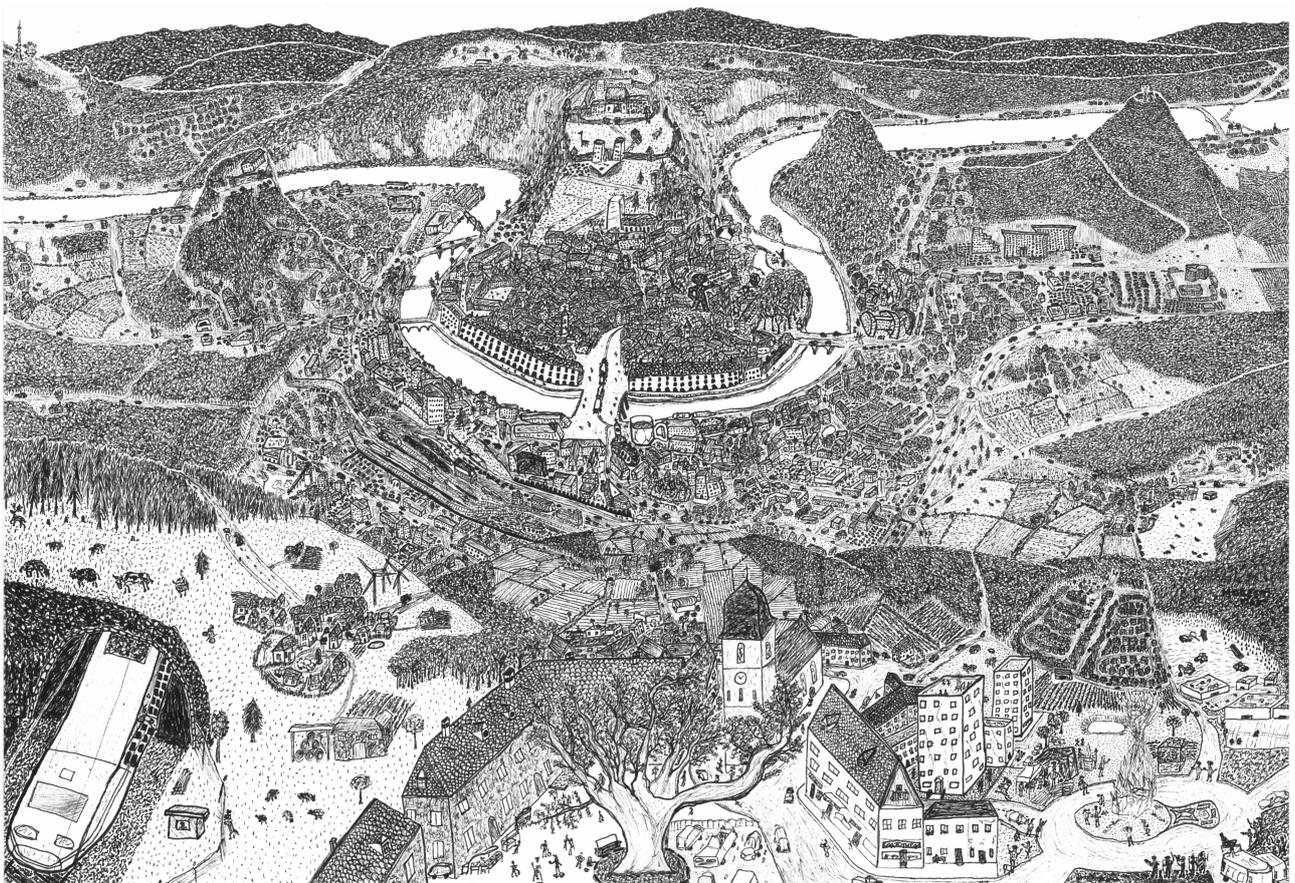
7. cette notion est elle même sujette à interprétation

La variabilité des modèles de simulation spatiale a été étudiée tout au long de la thèse et apporte une contribution plus théorique au champ de la modélisation urbaine. Son contrôle revêt une importance toute particulière afin de correctement utiliser les résultats des modèles de simulation spatiale. À travers cette thèse, nous avons construit une démarche répliquable pour analyser de manière la plus exhaustive possible cette variabilité, de ses sources (paramètres techniques ou scénaristiques, qualité des données) à ses effets (localisé, sectoriels, ou imprévisibles). Ce travail est nécessaire à expliciter le fonctionnement d'un modèle et revêt une importance cruciale relativement aux enjeux sous-jacents. Il devrait être appliqué systématiquement dès la construction d'un modèle et particulièrement lors de son couplage avec un autre modèle. Nous avons analysé la transmission de la forte variabilité d'un module particulier à l'ensemble du modèle. Selon les cas et les observations, cette variabilité peut être résorbée ou, au contraire, amplifiée.

Le volume important de simulation est inhérent à la grande précision de la simulation (la parcelle), la large étendue de la zone d'étude (une région urbaine), aux nombreuses contraintes intervenant au cours de la simulation et à la variabilité précédemment citée. Nous avons travaillé avec l'institut des systèmes complexes (ISC) afin de trouver les moyens technologiques de paralléliser ces calculs grâce à des techniques de calcul distribué. Il nous a fallu contribuer au projet OpenMole, porté par l'ISC, pour adapter cette plateforme à nos calculs, générant un gros volume de données et nécessitant des ressources importantes.

## **Perspectives de la thèse**

Le contrat post-doctoral que je réalise actuellement pour l'université de Franche-Comté correspond aux aspirations de ce travail précédemment formulées. D'une part, nous publions des articles scientifiques dans des revues internationales afin de valoriser et d'étendre les différents aspects scientifiques développées au cours de cette thèse. D'autre part, nous continuons notre collaboration avec les services de l'agglomération de Besançon. Les services des espaces verts et le service de l'urbanisme ont émis le souhait d'articuler leurs attentes, assez souvent divergentes. Le premier souhaite développer divers écosystèmes au sein de l'agglomération afin d'améliorer la qualité environnementale de la ville sur divers points (îlots de chaleurs urbains, pollinisation, etc.). Il doit alors prendre en compte l'ensemble des espaces verts, notamment appartenant à des acteurs privés. Les règles de construction et le type de bâtiment qu'il est possible de construire selon les différentes zones de l'agglomération sont donc directement impactant sur les qualités environnementales. Le service de l'urbanisme doit pouvoir garantir que l'espace disponible à la construction permettra de répondre à la demande de logement et à certaines exigences fonctionnelles. Nous étudions donc divers scénarios et comparons plusieurs versions de règlements et zonages de PLU afin de trouver une solution optimale pour tous.



## Bibliographie choisie

### RÉFÉRENCES

- Banos, A. (2013). *Pour des pratiques de modélisation et de simulation libérées en géographie et en SHS*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne.
- Brasebin, M., Chapron, P., Chérel, G., Leclaire, M., Lokhat, I., Perret, J., and Reuillon, R. (2017a). Apports des méthodes d'exploration et de distribution appliquées à la simulation des droits à bâtir. In *Actes du Colloque International de Géomatique et d'Analyse Spatiale (SAGEO 2017)*.
- Brasebin, M., Perret, J., Mustière, S., and Weber, C. (2016). A generic model to exploit urban regulation knowledge. *International Journal of Geo-Information*.
- Brasebin, M., Perret, J., Mustière, S., and Weber, C. (2017b). 3d urban data to assess local urban regulation influence. *Computers, Environment and Urban Systems*.
- Charmes, É. (2010). Introduction au dossier "La densification en débat". *Etudes foncières*, (145) :20–23.
- Frankhauser, P., Tannier, C., Vuidel, G., and Houot, H. (2010). *Développement urbain fractal sous contraintes d'accessibilités - Modèles et outils d'aide à la décision pour l'aménagement urbain*. CNRS - Universités de Franche-Comté et de Bourgogne.
- Frankhauser, P., Tannier, C., Vuidel, G., and Houot, H. (2018). An integrated multifractal modelling to urban and regional planning. *Computers, Environment and Urban Systems*, 67(Supplement C) :132 – 146.
- Hirtzel, J. (2015). *Exploration prospective des mobilités résidentielles dans une agglomération urbaine au moyen d'un modèle de simulation multi-agents (Mobisim)*. PhD thesis, Université de Franche-Comté.
- Le Néchet, F. (2015). De la forme urbaine à la structure métropolitaine : une typologie de la configuration interne des densités pour les principales métropoles européennes de l'audit urbain. *Cybergeo*.
- Mustafa, A., Heppenstall, A., Omrani, H., Saadi, I., Cools, M., and Teller, J. (2018). Modelling built-up expansion and densification with multinomial logistic regression, cellular automata and genetic algorithm. *Computers, Environment and Urban Systems*, 67 :147 – 156.
- Reuillon, R., Leclaire, M., and Rey-Coyrehourcq, S. (2013). Openmole, a workflow engine specifically tailored for the distributed exploration of simulation models. *Future Generation Computer Systems*, 29(8) :1981 – 1990.
- Saltelli, A., Ratto, M., Tarantola, S., and Campolongo, F. (2006). Sensitivity analysis practices : Strategies for model-based inference. *Reliability Engineering and System Safety*, 91 :1109–1125.
- Schmitt, C. (2014). *Modeling settlements systems dynamics : from SimpopLocal to SimpopNet*. Theses, Université Panthéon-Sorbonne - Paris I.
- Tannier, C., Vuidel, G., Frankhauser, P., and Houot, H. (2010). Simulation fractale d'urbanisation - mup-city, un modèle multi-échelle pour localiser de nouvelles implantations résidentielles. *Revue Internationale de Géomatique*, 20 :303–329.
- Tannier, C., Vuidel, G., Frankhauser, P., and Houot, H. (2012). Spatial accessibility to amenities in fractal and non fractal urban patterns. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 39 :801–819.
- Varenne, F. (2009). Simulation informatique et pluriformalisation des objets composites. *Philosophia Scientiæ. Travaux d'histoire et de philosophie des sciences*, 1(13) :135–154.
- White, R. and Engelen, G. (2000). High-resolution integrated modelling of the spatial dynamics of urban and regional systems. *Environment and Planning B*, 24 :283–400.
- Yeh, A. G.-O., LI, X., LIU, T., and LIU, X.-p. (2007). Analysis of error propagation and uncertainties in urban cellular automata. *Geographical Research*, 26(3) :443.