

# LES DONNÉES GÉOGRAPHIQUES 3D POUR SIMULER L'IMPACT DE LA RÉGLEMENTATION URBAINE SUR LA MORPHOLOGIE DU BÂTI

par Mickaël Brasebin

COGIT, IGN, SRSIG

Université Paris-Est, 73 av. de Paris, 94160 Saint-Mandé, France

mickael.brasebin@ign.fr

*Les Plans Locaux d'Urbanisme sont des documents réglementaires complexes qui régissent la constructibilité au niveau de la parcelle. Afin d'explicitier de manière géométrique ces informations réglementaires textuelles, j'ai proposé une méthode de génération de formes bâties s'appuyant sur les connaissances contenues dans ces règlements. Une telle approche peut être utilisée pour simplifier la concertation autour des PLU, pour faciliter l'instruction de permis de construire ou pour évaluer la constructibilité sur un territoire.*

## Introduction

L'évolution des villes est régulée par des documents d'urbanisme qui régissent différents objets de la ville à différentes échelles spatiales et temporelles. Ces documents contiennent une partie textuelle, qui concerne les objets du territoire couverts par la réglementation et également une partie cartographique. Un des enjeux concernant ces documents est d'être capable d'évaluer leurs influences à l'aide des connaissances qu'ils contiennent et de les exploiter par des méthodes avancées de géomatique.

Dans le cadre de ce travail de thèse, le document qui nous a intéressé est le règlement du Plan Local d'Urbanisme (PLU). Ce règlement définit le droit à bâtir au niveau de la parcelle. La structure du règlement est imposée par le Code de l'Urbanisme qui définit l'intitulé des articles. Ainsi, pour tous les PLU de France, l'article 10 du règlement a pour objectif de contraindre la hauteur des nouvelles constructions. Ces règlements sont par nature des documents consultés par de nombreux acteurs du territoire (qui n'ont pas toujours des connaissances suffisantes pour les comprendre) dont l'utilisation diffère en fonction de l'état d'avancement du PLU ou de l'acteur qui le consulte. L'intégration de telles connaissances au sein d'un système d'information géographique 3D peut aider à comprendre l'influence du règlement sur un territoire et faciliter les usages de ces différents acteurs. On peut ainsi considérer deux exemples d'usage :

- I. **rédaction/révision** : pour permettre au service des politiques foncières d'une collectivité de tester l'influence sur la constructibilité de différents scénarios réglementaires ;
- II. **concertation avec les élus ou les citoyens** : pour proposer des visualisations 3D explicites du contenu réglementaire et faciliter l'appropriation de la connaissance réglementaire.

L'objectif de ce travail de thèse, qui touche aux domaines de l'informatique, de la géographique et du droit de l'urbanisme, est de proposer une approche permettant d'exploiter automatiquement les connaissances contenues dans les règlements des PLU. Nos propositions s'organisent en trois axes (fig. 1) de manière à répondre aux verrous identifiés : modélisation des connaissances réglementaires, générations de formes bâties à partir de ces connaissances et intégrations de données 3D.

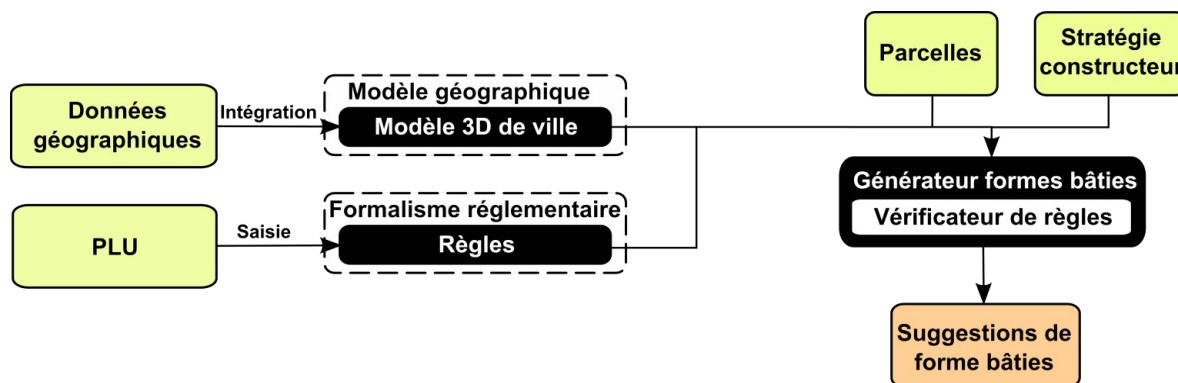


Figure 1 : Organisation globale des propositions effectuées dans le travail de thèse

## Modélisation des connaissances urbaines

Pour exploiter automatiquement les connaissances contenues dans le règlement des PLU, un travail de modélisation de ces connaissances a été effectué. Si l'on considère une formulation de règle comme : « La **hauteur** des **façades** mesurée à **l'égot du toit par rapport** au **terrain** doit être inférieure à 12 m », la modélisation des connaissances nécessite de traiter deux aspects :

- Proposer un **modèle géographique de l'environnement**, pour décrire les éléments spatiaux mentionnés dans le règlement. La règle citée précédemment se réfère à des objets géographiques (**façade** et **égout de toit**), des relations spatiales (**par rapport**) et des attributs (**hauteur**) ;

- Formaliser les règles d'urbanisme** pour pouvoir exprimer et vérifier l'ensemble de la règle.

Comme le législateur jouit d'une certaine liberté pour définir les règles, il est impossible de fournir une modélisation exhaustive des règlements des PLU, nous avons travaillé sur une modélisation partielle avec un cadre d'étude défini à travers plusieurs filtres : nous n'avons considéré que les règles qui concernent le bâti, celles s'appuyant sur des informations spatiales disponibles dans les données géographiques 3D courantes et celles qui sont énoncées de manière objectives (par opposition aux règles appréciatives nécessitant un jugement humain).

Pour produire notre modèle, nous nous sommes inspirés d'un ensemble de travaux scientifiques existants du domaine, pour proposer un modèle géographique UML permettant de décrire l'environnement. Au final, le modèle proposé exploite et enrichit un certain nombre de normes existantes (CityGML pour la représentation des objets géographiques 3D, Covadis pour la représentation des prescriptions graphiques, Inspire pour la représentation des parcelles). L'expression des règles s'effectue grâce au langage OCL qui permet d'exprimer des contraintes grâce à l'ensemble des éléments réglementaires modélisés. Pour montrer la pertinence de cette approche, la modélisation du règlement de plusieurs zones de Strasbourg a été effectuée et est présentée dans la thèse. Cela met en avant la portée de ce qui est modélisable et de donne des clefs pour traduire les règles dans le formalisme proposé.

## Génération de formes bâties

Nous avons proposé une méthode permettant de générer des formes bâties à partir des informations saisies dans notre modèle. Comme ces informations ne suffisent pas à définir la morphologie de bâtiments (en effet, il est possible de produire différentes formes bâties à partir d'un même règlement), nous avons introduit une fonction d'utilité qui traduit la stratégie de construction d'un agent-constructeur. Cette fonction traduit de manière

numérique les objectifs et la stratégie du constructeur. Par exemple, un ménage pourrait avoir comme objectif de construire une maison de plain-pied et aurait des objectifs différents d'un promoteur immobilier qui pourrait souhaiter d'optimiser la surface construite.

Ainsi, le simulateur considère les informations modélisées dans notre modèle, des règles d'urbanisme formalisées et une fonction d'utilité pour proposer des formes bâties optimisant la fonction d'utilité. Ce problème se classe dans la catégorie des problèmes d'optimisation (de la fonction d'utilité) sous contraintes (les règles d'urbanisme modélisées). Dans le cadre du travail de thèse, nous proposons d'effectuer la résolution de ce problème grâce à la méthode du recuit simulé trans-dimensionnel. Cette méthode permet une optimisation sans connaître a priori le nombre d'objets à générer sur une parcelle donnée. Ainsi, pour un même jeu de règles, le générateur proposera des formes bâties plus riches en termes d'objets pour des parcelles plus grandes. Les formes bâties proposées par le système se composent d'un ensemble de boîtes. Ainsi, le système vise à proposer un ensemble de boîtes (dont on ne connaît pas le nombre) optimisant la fonction d'utilité. Suivant l'usage, les formes bâties peuvent s'organiser de différentes manières, on peut considérer qu'un bâtiment est composé de plusieurs boîtes s'intersectant ou d'une seule boîte (par exemple, pour simuler du tissu pavillonnaire).

## Intégration de données géographiques 3D

Comme le simulateur a vocation à fonctionner avec des données réelles, nous nous sommes intéressés à l'utilisabilité des données géographiques existantes et au processus d'intégration qui permet de les exploiter. Nous avons proposé des méthodes permettant d'enrichir des données pour extraire les informations nécessaires à l'exploitation des connaissances contenues dans les plans locaux d'urbanisme.

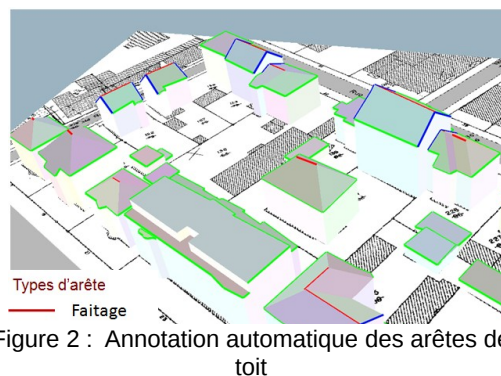


Figure 2 : Annotation automatique des arêtes de toit

Parmi les méthodes proposées, nous avons conçu un processus permettant d'extraire la position des faitages, des pignons et des gouttières de toits à partir de données 3D de bâtiments avec des toits typifiés (figure 2). Un tel processus n'étant pas applicable avec des données 3D moins détaillées (de type boîte à chaussure), nous avons montré qu'un certain nombre d'informations de notre modèles (et donc de raisonnements associés) ne sont accessibles qu'avec ces données plus détaillées (Par exemple : possibilité d'accoler des bâtiments simulés à des pignons en attente).

## Mise en œuvre

La mise en œuvre de ce travail a débouché sur le développement et la mise à disposition en Open-Source de la bibliothèque informatique SimPLU3D (<http://ignf.github.io/simplu3D/>). Ce code a été utilisé à travers un ensemble de simulations présentées dans la thèse. Notamment pour valider les résultats produits et pour étudier la sensibilité des formes produites en fonction des paramètres (dimension des boîtes, temps d'exécution, etc.).

Nous avons également illustré la thèse avec un exemple potentiel d'utilisation : l'aide à la conception de PLU. L'outil pourrait assister un utilisateur qui souhaiterait déterminer les paramètres adéquats pour les règles d'un nouveau règlement. Dans la figure 3, nous avons présentés différentes simulations avec différentes valeurs de paramètres pour une règle de

prospect. Cette règle est défini par un plan sous lequel les bâtiments construits doivent être situés, défini avec une hauteur initiale au niveau des parcelles voisines (paramètres **Hini**) et une pente (paramètre **s**). Ainsi, en explorant les différentes simulations, le concepteur peut avoir une vue des constructions possibles pour différentes valeurs de paramètres et donc de choisir la forme bâtie qui lui semble la plus adéquate.

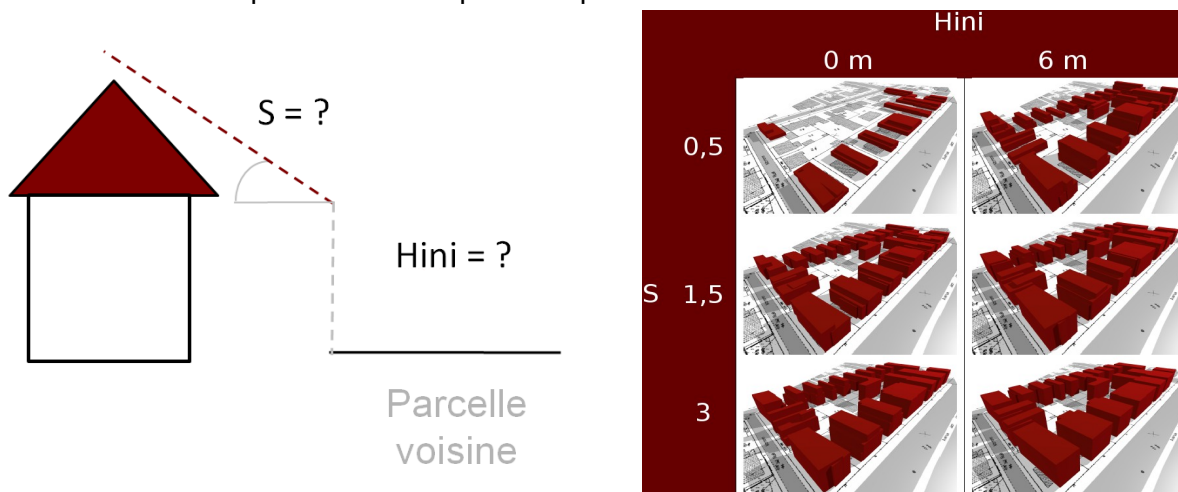


Figure 3 : À gauche, illustration d'une règles de prospect et de ses paramètres (**S** et **Hini**) et à droite simulation de formes bâties pour différentes valeurs de **S** et **Hini**.

## Perspectives

Après la thèse, un travail de mise en œuvre opérationnelle de l'outil a été mené à travers différentes utilisations potentielles. En collaboration avec l'Agence d'Urbanisme d'Île de France, l'outil est utilisé dans une série d'expérimentations pour évaluer la constructibilité en Île-de-France. L'évaluation de cette constructibilité a pour but d'étudier le prix du foncier et de détecter de potentielles zones de spéculations foncières<sup>1</sup>.

Dans le cadre du projet PLU++, une collaboration est menée avec l'École d'Ingénieur de la Ville de Paris pour étudier comment les simulations issues de ce travail pourraient être utilisées pour enrichir la concertation autour des PLU. Ce projet permettra de réfléchir aux nouveaux éléments qui seraient nécessaires à simuler, à la manière de les représenter afin de faire comprendre le règlement sous-jacent et aux méthodes d'interaction adaptées pour faciliter la participation lors des réunions de concertation.

1 Premiers éléments dans la note de conjecture de l'observatoire régional foncier d'Île de France : [http://www.orf.asso.fr/uploads/attachements/orf\\_nc7\\_ok\\_lg.pdf](http://www.orf.asso.fr/uploads/attachements/orf_nc7_ok_lg.pdf)