

# Traitement et analyse des contraintes urbaines pour une optimisation morphologique

## Étude comparative des modèles MorVer et SimPLU3D

Alia Belkaïd<sup>1</sup>, Mickaël Brasebin<sup>2</sup>, Ines Hassoumi<sup>3</sup>

1 École Nationale d'Architecture et d'Urbanisme,  
ED SIA  
Université de Carthage  
2026 Sidi Bou Saïd, Tunisie  
a.belkaid@gnet.tn

2 Université Paris-EST,  
IGN ENSG,  
LASTIG COGIT,  
73 avenue de Paris 94165 Saint-Mandé, FRANCE  
Mickael.Brasebin@ign.fr

3 Institut Supérieur de Gestion de Tunis,  
Laboratoire SOIE COSMOS  
Campus Universitaire de la Manouba  
2010 La Manouba, Tunisie  
Ines.hassoumi@gmail.com

**Résumé** La morphologie urbaine est régulée par des règlements locaux d'urbanisme qui s'expriment à travers des textes. L'objectif de cet article est : i) de comparer deux modèles, SimPLU3D [4] et MorVeR [1], qui traduisent les contraintes urbaines morphologiques en volumes, ii) et de relever les potentialités et les limites des deux approches informatiques. La mise en rapport des règles urbaines avec le volume contraint permet de distinguer le volume constructible optimal « géométriquement » du volume réglementaire qui optimise au mieux les contraintes urbaines.

**Mots clés** Contraintes urbaines, Formes urbaines, Optimisation des contraintes, Volumes réglementaires.

**Abstract** Urban morphology is controlled by local planning regulations that are expressed through legal texts. The objective of this article is to compare two models, SimPLU3D [4] and MorVeR [1], which transform the urban morphological constraints into volumes and to meet the potential and limitations of both computational approaches. The relation between the urban rules

with the authorized volume leads to the optimal building volume "geometrically" regulatory volume which better optimizes the urban constraints.

**Key words** Urban constraints, Urban Forms, Constraint optimization, Spatial problems, Authorized volumes.

## 1 Introduction

Évaluer l'influence de la réglementation sur la macro-forme urbaine est un enjeu important dans des villes où l'on essaye de construire de manière toujours plus dense. La densification permet de freiner l'«étalement urbain» qui désigne le phénomène d'expansion des surfaces urbanisées en périphérie des villes et des villages. Cette démarche s'inscrit dans un objectif de développement durable.

Dans la pratique de l'architecture, une étape préalable est de commencer la conception à partir de volumes respectant des informations liées à des règles urbaines. Dans [5], l'influence de la réglementation est démontrée à la fois sur la forme à travers la production de plusieurs bâtiments réalisés, mais également sur l'activité de production architecturale.

De ce fait, l'exploitation des règles urbaines occupe une place cruciale dans la conception de la forme urbaine que ce soit à une échelle macro ou à une échelle micro. Quoiqu'il en soit, la question de générer des formes optimales soumises aux contraintes réglementaires suscite l'intérêt de plusieurs acteurs de la ville et fait l'objet de différentes recherches pluridisciplinaires qui visent la génération de volumes réglementaires : système expert [9], système à base de connaissances orienté objet [7], les algorithmes pseudo-génétiques [8] ou génération procédurale [10] .

Nous entendons dans cet article par **Volume réglementaire** d'une parcelle donnée, un volume constructible maximal qui respecte les règles urbaines. Ainsi, à travers l'exploration de deux simulateurs, ce papier se propose de mettre en avant la différence de traitement de cette notion de volume réglementaire à travers le questionnement suivant : Comment l'échelle d'intervention (parcelle, ville) influence-t-il l'analyse de la réglementation et des formes produites ? Quel est l'impact de la réglementation sur l'optimisation des contraintes urbaines morphologiques ? L'étude comparative porte sur deux modèles, SimPLU3D [2] et MorVeR [1], auxquels nous relevons les potentialités et les limites en comparant des résultats issus d'expérimentations.

## 2 Règles urbaines génératrices de volumes

Parmi les règles urbaines qui contraignent chaque parcelle, SimPLU3D et MorVeR ne retiennent que les règles urbaines morphologiques quantifiables, non appréciatives, transposables en un volume réglementaire, et qui ont un impact direct sur la morphologie des constructions.

Dans le module SimPLU3D, les règles sont considérées comme intransgressibles. C'est à dire que le système les considère comme des contraintes qui doivent absolument être vérifiées pour les configurations générées. Les objets géographiques, les relations entre ces objets ainsi que les informations attachées, ont été assemblés au sein d'un modèle [3] pour représenter le territoire du

point de vue des règlements locaux. Ce modèle est utilisé informatiquement pour évaluer des règles grâce à un langage qui s'appuie sur les concepts dudit modèle et indiquer si une forme respecte ou non les règles.

Le modèle MorVeR, par contre, s'appuie sur un principe hiérarchique d'application des règles urbaines morphologiques déduit d'une étude historique de la réglementation urbaine. La classification des règles urbaines est fondée sur trois critères (statut, fréquence, et ancienneté) et trois notions (priorité, prépondérance et importance). La notion de priorité définit l'urgence de traitement de la règle à partir de son statut (public, de voisinage ou privé). La notion de prépondérance définit la fréquence d'application de la règle (Répondue, Rare). La notion d'importance correspond au rang de la règle dans une classe donnée. MorVeR traduit la classification hiérarchique des règles par un coefficient de pondération ( $C_p$ ) associé à chaque règle. Ce coefficient est égal à l'inverse de l'ordre d'application des règles urbaines.

### 3 Comparaison des modèles

L'objectif global de ces deux modèles est la génération de volumes réglementaires optimaux mettant en relation : des règles urbaines, des données spatiales et une forme. Cependant, chaque travail met en œuvre une méthode d'optimisation différente des contraintes et introduit des spécificités propres au cadre disciplinaire qui a mené à leur conception. Pour garantir l'optimisation, une méthode de type recuit simulé trans-dimensionnel est appliquée dans SimPLU3D.

Une des propositions mise en œuvre consiste à produire des configurations optimisant la densité (c'est-à-dire le volume qui peut recevoir le bâtiment le plus volumineux possible) pour simuler le comportement d'un concepteur qui tenterait de bénéficier au maximum de ses droits à bâtir (Figure 1). Ainsi, suivant l'acteur modélisé, il est possible de simuler différents comportements en utilisant différentes fonctions numériques.

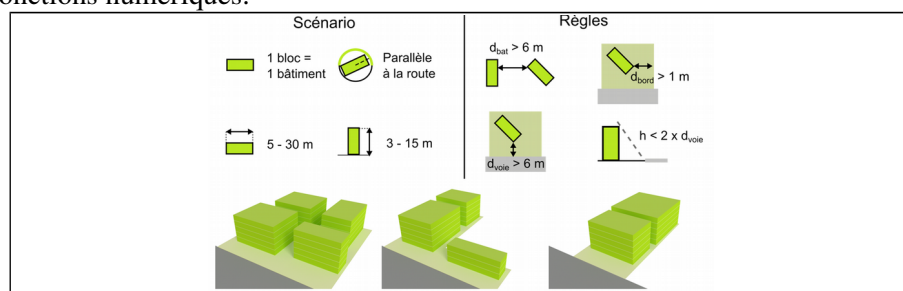


Figure 1. Exemple de simulations issues de SimPLU3D et les règles appliquées sur différentes formes de parcelle

Le modèle MorVeR, quant à lui, cherche à optimiser l'application des contraintes. Il propose pour une parcelle donnée, un ou plusieurs volumes dont les attributs répondent au mieux aux valeurs cibles des contraintes urbaines. Ce modèle fait appel à un système multi-agents. Il vise un système collaboratif Homme-machine. Il adopte simultanément une approche par construction (automatique) puis, au besoin, une approche par contrôle qui demande la collaboration du concepteur. Les agents appliquent par défaut les contraintes classées selon un ordre hiérarchique. MorVeR teste plusieurs alternatives à la recherche d'une solution optimale qui répond aux valeurs cibles des contraintes.

Le système commence par la mise en interaction de l'ensemble des agents. En suivant l'ordre hiérarchique donné par le tableau d'initialisation paramétrique [1], le système vérifie si la solution est unique ou multiple. Le choix d'application des règles urbaines dépend de chaque situation de recherche de solutions. Si la solution est unique, le système s'arrête sans l'intervention du concepteur en adoptant simplement une approche par construction pour la génération du volume réglementaire.

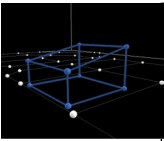
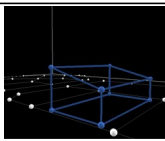
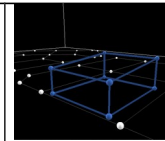
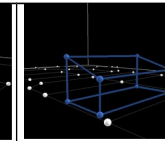

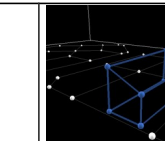
Si la solution est multiple, le système passe la main au concepteur pour orienter le système vers des solutions désirées. L'interaction entre les agents et l'environnement est assurée par les contraintes internes (contraintes urbaines) associées lorsqu'il est nécessaire aux contraintes externes induites par le concepteur. Elle aboutit à une satisfaction partielle ou totale des contraintes mesurée à l'aide de la fonction de fitness. Cette fonction permet de qualifier l'interaction et d'évaluer l'optimisation de la solution, c'est-à-dire le degré de son rapprochement de la solution « idéale » qui atteint toutes les valeurs cibles des différentes contraintes.

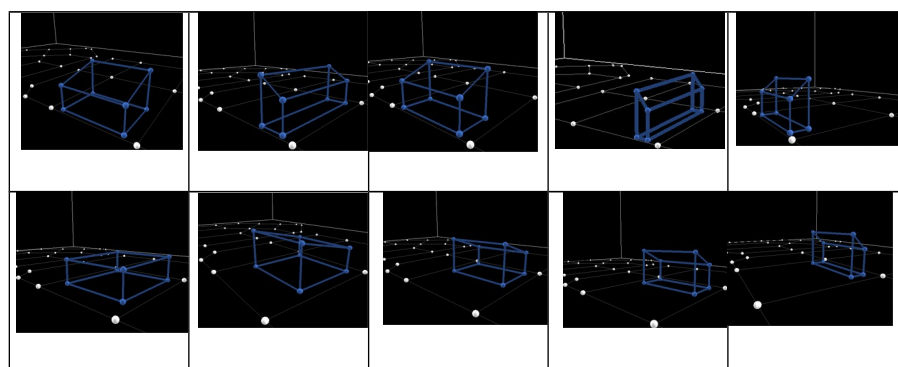
Les deux modèles se distinguent principalement par : i) la définition des objectifs d'optimisation : dans SimPLU3D l'optimisation s'effectue sur un indicateur numérique tierce, par contre dans MorVeR nous tentons d'atteindre la valeur cible des différentes contraintes ; ii) les possibilités d'interaction entre le système et le concepteur : SimPLU3D est paramétrable à la phase d'initialisation, par contre MorVeR donne la main au concepteur au cours du processus de génération après avoir testé le nombre de volumes générés par la machine ; iii) la diversité des formes produites : SimPLU3D propose un seul volume optimisant la fonction d'optimisation, par contre MorVeR propose un ou plusieurs volumes ; iv) l'échelle d'intervention : SimPLU3D offre la possibilité de s'adapter à des usages différents en agissant sur le niveau de granularité des boîtes contrairement à MorVeR qui s'oriente plus à la conception architecturale en offrant des prismes plus précis.

## 4 Expérimentation

Dans cette section, nous effectuons des simulations pour comparer les résultats des deux approches. **La première expérience** a été réalisée avec « MorVeR » sur la plate-forme *NetLogo 3D*. Il s'agit d'une parcelle située à Tunis soumise à 7 contraintes urbaines morphologiques. Cette expérimentation vise la génération de volumes réglementaires en tenant compte du tableau d'initialisation paramétrique introduit par défaut. L'intervention du concepteur se limite dans ce cas en le choix d'un pas de variation de la valeur courante du ratio de l'emprise bâtie (égal à 0,1) et d'une position topique (droite, bas et haut) du volume réglementaire sur la parcelle (Tableau 1). Cette application permet d'obtenir 15 volumes avec différentes valeurs de satisfactions de contraintes.

Tableau 1. Volumes réglementaires générés par MorVeR



**La deuxième expérience** vise la comparaison des résultats des deux simulateurs. Il s'agit de choisir un des volumes générés par la précédente expérimentation, de l'exporter à l'environnement du SimPLU3D. Avec les mêmes contraintes urbaines, et en tenant compte de nouveaux paramètres d'initialisations (longueur/largeur/hauteur/orientation de la boîte principalement), SimPLU3D génère durant son évolution plusieurs volumes qui sont comparés entre eux. Mais à la fin le système ne garde que le meilleur volume optimal géométriquement. Ici, pour pouvoir comparer les deux premières approches, une limitation a été ajoutée à SimPLU3D pour ne pas générer une forme composée d'une seule boîte.

Figure 2. Comparaison de volumes réglementaires générés par les deux modèles (en rouge pour SimPLU3D et en vert pour MorVer)

Le premier résultat montre un grand décalage entre le volume généré par MorVeR et celui généré par SimPLU3D (Figure 2). Le premier est un prisme. Le deuxième est une boîte parallélépipédique. Le volume géométrique généré avec SimPLU3D est plus important que le premier. Néanmoins, il présente une satisfaction des contraintes plus faible que celle du volume généré avec MorVeR car l'objectif de l'approche est d'optimiser le volume et non de se rapprocher des valeurs cibles des contraintes réglementaires.

**Pour la troisième expérience**, nous modifions le paramétrage de SimPLU3D afin qu'il génère des prismes pour produire des formes comparables avec celles générées par MorVER.

V1	V2	V3	V4	V5
----	----	----	----	----

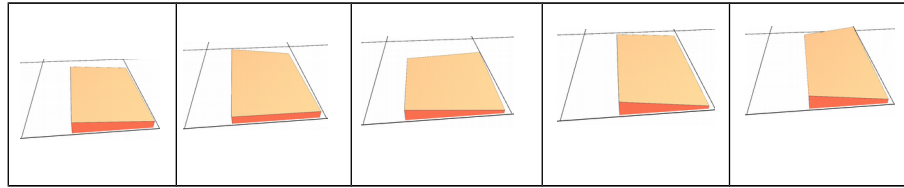


Figure 3. Volumes réglementaires générés par SimPLU3D

Le simulateur génère plusieurs volumes intermédiaires (Figure 3) mais il ne retient à la fin qu'un seul volume réglementaire qui optimise le volume géométrique. Le volume qui ressemble le plus au volume objet d'étude (généré par MorVeR) n'a pas été retenu par SimPLU3D. Comme la méthode de simulation est non-déterministe différentes formes sont produites avec à chaque fois des valeurs semblables de volume.

Nous constatons que les volumes sont plus importants dans le cadre de l'usage de SimPLU3D, mais s'approchent moins des limites des contraintes réglementaires. Les formes de SimPLU3D suivent donc moins les limites que celles de MorVeR. Par ailleurs, là où dans MorVeR, la variété des formes est produite par le placement d'un usager au sein de la parcelle, la diversité des formes de SimPLU3D est produite par un aléa pas toujours contrôlable, même si des pistes d'évolution sont étudiées pour pouvoir produire des bâtiments diversifiés [3].

## 5 Discussion

Les deux modèles se rejoignent dans le besoin de doter le simulateur d'une stratégie de convergence livrée par le concepteur. Mais chaque modèle propose cette stratégie avec des degrés d'interaction Homme/machine différenciées. Les stratégies proposées par les deux modèles font appel au concepteur qui permet d'orienter le système vers une solution désirée moyennant une pertinence.

Cette pertinence est traduite dans le modèle SimPLU3D au niveau de la fonction-objectif paramétrable par le concepteur en phase d'initialisation. Par contre, pour MorVeR cette pertinence est traduite par les coefficients de pondération des contraintes paramétrables par le concepteur dans le cas d'une satisfaction partielle des contraintes. Le concepteur attribue un coefficient de pondération maximal (égal à 1) à la contrainte (ou paquet de contraintes) définissant une pertinence. À la phase d'initialisation du système, il peut aussi fixer la valeur courante souhaitée d'une (ou plusieurs) contrainte(s) choisie(s). Le système se charge par la suite de définir le reste des valeurs courantes des contraintes en fonction de l'interaction des agents entre eux et avec l'environnement.

La pertinence réglementaire du MorVeR revient à définir les paquets de règles jugées prioritaires par le concepteur en lui attribuant le coefficient de pondération maximal (égal à 1).

La pertinence réglementaire du SimPLU3D se réfère à la densité géométrique de la parcelle jugée prioritaire. Elle est définie par le coefficient d'utilisation du sol (Volume bâti/Aire de la parcelle). Cette pertinence intègre également la notion de granularité définie par le coefficient de parcimonie ce qui permet d'agir sur la résolution de la solution générée. Ceci permet d'adapter chaque niveau de résolution au besoin du concepteur et à l'échelle d'intervention (géographique, urbaine,

architecturale). En effet, différents paramètres sont disponibles pour définir la granularité des formes générées [2].

## 6 Conclusion

Le volume réglementaire est une solution spatiale qui peut être unique ou multiple en fonction du nombre et de la nature des contraintes urbaines. Lorsque le volume réglementaire est unique SimPLU3D et MorVeR aboutissent à la même solution. Mais lorsque le volume réglementaire est multiple les solutions générées seront plus ou moins semblables car elles seront tributaires de la pertinence attribuée par le concepteur et du niveau de granularité de la boîte attribuée. La mise en rapport des règles urbaines avec le volume contraint permet de distinguer le volume constructible optimal « géométriquement » du volume réglementaire qui optimise au mieux les contraintes urbaines. En tenant compte des points de convergences et de divergences des deux modèles, un modèle hybride d'optimisation des contraintes réglementaires sera l'objet d'un travail ultérieur afin de prendre en considération les différents cas d'application, les différentes échelles spatiales (parcelle, quartier, ville) et les différentes pertinences introduites par le concepteur.

## Références

- [1] Belkaïd, A. (2014). Morphose du volume englobant réglementaire. Tunis: ENAU.
- [2] Brasebin, M., J. Perret, S. Mustière, C. Weber (2018). 3D urban data to assess local urban regulation influence. Volume 68, March 2018, Elsevier. Computers, Environment and Urban Systems
- [3] Brasebin, M., P. Chapron, G. Chérel, M. Leclaire, I. Lokhat, J. Perret and R. Reuillon (2017) Apports des méthodes d'exploration et de distribution appliquées à la simulation des droits à bâtir, Actes du Colloque International de Géomatique et d'Analyse Spatiale (SAGEO 2017)
- [4] Brasebin, M., J. Perret, S. Mustière and C. Weber (2016) A Generic Model to Exploit Urban Regulation Knowledge, ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 5, n. 2, pp. 14, doi:10.3390/ijgi5020014.
- [5] Lucan, J. (2009). Composition, non-composition : Architecture et théories, XIXe-XXe siècles. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes.
- [6] Roche, O. (1988). Conception d'un prototype S-E restreint: Un aspect du règlement. Rapport interne du LEMA, Liège.
- [9] Turkienicz, B., Gonçalves, B., Grazziotin, P. Cityzoom : A visualization tool for the assessment of planning regulations, International Journal of Architectural Computing 6 (1) (2008) 79–95
- [10] Parish, Y. I. H., Müller, P. Procedural modeling of cities, in: Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, SIGGRAPH '01, ACM, New York, NY, USA, 2001, pp. 301–308.