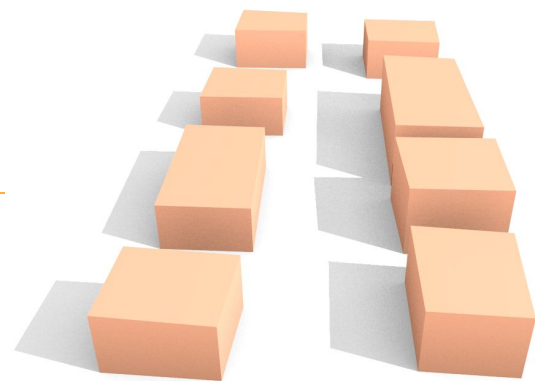


Mickaël Brasebin - Chercheur, **COGIT/IGN**, axe “Dynamiques spatiales”
Séminaire LOCIE - 6 juillet 2018

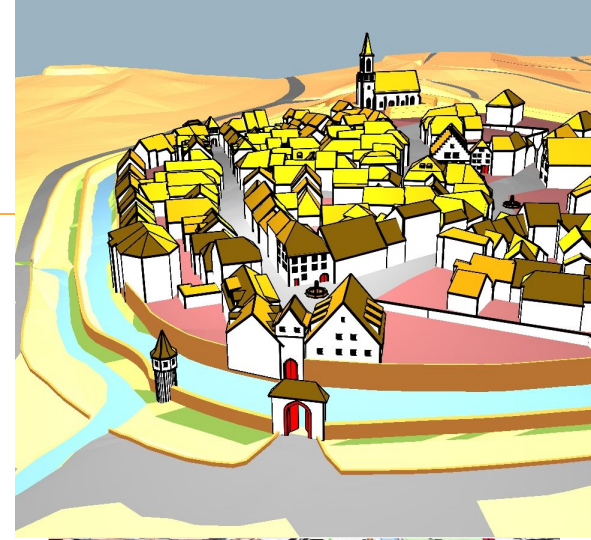
Contexte de mes recherches

- Émergence de données géographiques 3D
 - Qualité/niveau de détail très hétérogènes
- Manque d'outils et de méthodes SIG 3D pour exploiter ces données
- Utilisabilité des données 3D
- Développement durable des territoires
 - Systèmes complexes => Prise en compte de documents d'aménagement

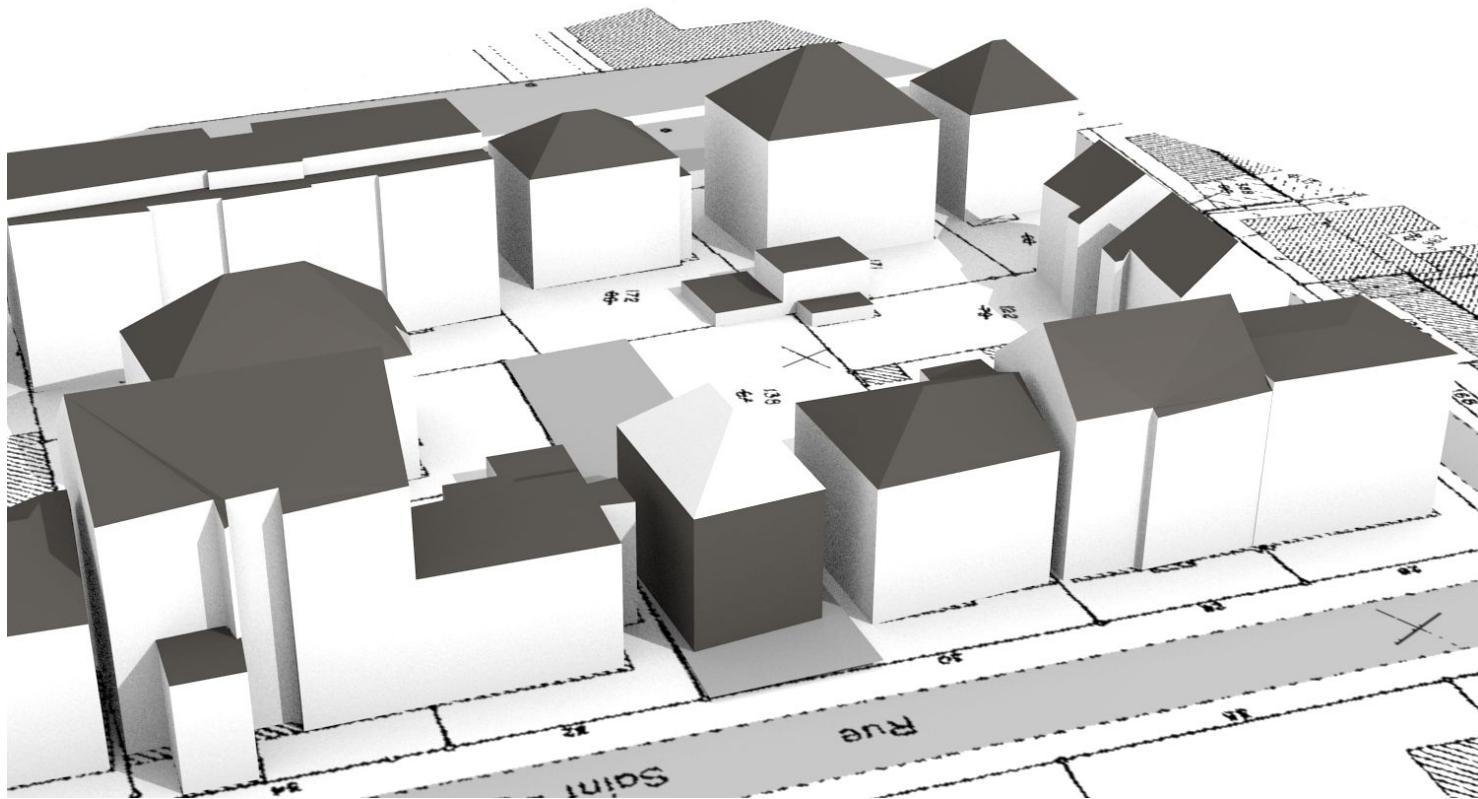


Apports

- Modélisations 3D adaptées
 - Transformation/Enrichissement de données, ...
- Méthodes et outils d'analyse 3D
 - Co-conception d'indicateurs morphologiques
 - Prise en compte des imperfections des données
- Simulation de l'étalement urbain/densification
 - Conception d'outils de simulation
 - Analyse de sensibilité
- Représentation 3D de phénomènes complexes



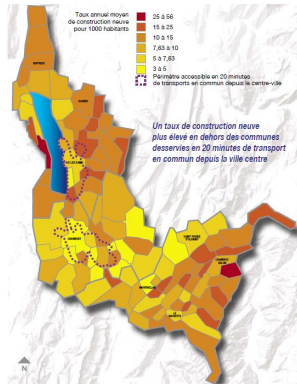
Simulation 3D de la constructibilité et utilisations pour l'aménagement



Contexte général de la recherche

- Documents d'aménagement et développement urbain

Schéma de Cohérence Territorial



Suivi du SCOT [Savoie Métropole]

Plan de Déplacement Urbain



[Projet ANR EvalPDU]

- **Enjeu** : Comment évaluer l'efficacité de ces documents ?

Règlement locaux d'urbanisme

- Document d'urbanisme opérationnel
- Régulation de la constructibilité
 - Contraintes morphologiques 3D, fonctionnelles et d'aspect.
- En France, se traduit par :
 - Plans Locaux d'Urbanisme (PLU)
 - Plan d'Occupation des Sols (POS)
 - Cartes Communales
 - Règlement national d'urbanisme

Enjeu direct : Évaluation de la constructibilité

Enjeu indirect : Rapport entre les phénomènes urbains et la morphologie bâtie

UG.10.2.4 - Dispositions particulières applicables dans certains secteurs :

Secteurs de Maisons et villas SL.16-31 (Villa de Montmorency) et SL.17.04 (Villa des Ternes) :*

Le gabarit-enveloppe en bordure de voie défini par les dispositions de l'article UG.10.2.2 s'applique dans toute la profondeur du terrain, sans préjudice des limites fixées par le gabarit-enveloppe défini en limite séparative par l'article UG.10.3.2.

Son point d'attache est pris au niveau du trottoir (ou à défaut du sol de la voie), à l'alignement (ou à l'alignement de fait de la voie privée), au droit du milieu de la façade de la construction.

Secteur Montmartre (V. planches d'ilot spécifiques dans l'atlas des plans de détail) :

Le gabarit-enveloppe en bordure de voie s'applique aux terrains bordant la voie et à l'intérieur d'une bande de 20 mètres mesurés à partir du plan de la façade représentée sur les planches d'ilot de l'Atlas des plans de détail.

Il se compose successivement :

- d'une verticale comprise entre le sol et la cote rattachée au nivellement orthométrique indiquée sur les planches d'ilot ;
- le cas échéant, de 1 ou 2 niveaux en retrait. Aucun des retraits ne peut dépasser 3,00 m de hauteur et 0,40 m de profondeur, excepté s'il affecte un couronnement de pente nulle ; dans ce dernier cas, sa profondeur n'est pas limitée ;
- d'un couronnement de pente P (le cas échéant, de pentes P et P') défini ci-après selon la couleur du symbole inscrit sur les planches d'ilot (filet ou rectangle), limité par une horizontale située à une hauteur h au-dessus du sommet de la verticale :

1- P = 0	h = 0	symbole brun
2- $0 < P \leq 30^\circ$	h = 2,50 mètres	rectangle rose
3- $30^\circ < P \leq 45^\circ$	h = 5 mètres	rectangle vert
4- $45^\circ < P \leq 70^\circ$, P prolongée par une pente P' telle que $0 < P' \leq 15^\circ$	h = 4 mètres	filet bleu

Secteur Clichy-Batignolles (ZAC Cardinet Chalabre, ZAC Clichy Batignolles, secteur Saussure) :

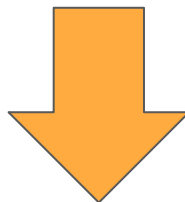
Les dispositions de l'article UG.10.2.1 sont remplacées par les dispositions suivantes en bordure des voies citées ci-après :

- Sur l'avenue de la Porte de Clichy, hors du sous-secteur Berthier Nord et sur les tronçons de voies à créer situées en ZAC qui bordent un espace vert public ou dont la largeur est supérieure ou égale à 20 mètres, le gabarit-enveloppe est constitué d'une verticale limitée par une horizontale située à la hauteur plafond fixée par le Plan général des hauteurs.
- Sur la rue Cardinet et les tronçons de voies à créer situées en ZAC ne bordant pas d'espace vert public et dont la largeur est comprise entre 12 et 20 mètres, le gabarit-enveloppe est constitué d'une verticale limitée par une horizontale fixée à 28 mètres de hauteur.
- Sur les tronçons de voies à créer situées en ZAC ne bordant pas d'espace vert public et dont la largeur est inférieure ou égale à 12 mètres, le gabarit-enveloppe est

Illustration de problématique

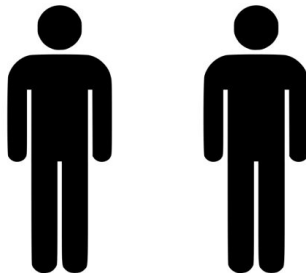
« La distance comptée horizontalement de tout point du bâtiment au point de la limite parcellaire qui en est le plus rapproché doit être au moins égale à la moitié de la différence d'altitude entre ces deux points. »

Compréhension de la réglementation ?



Formes bâties possibles ?

Compatibilité avec d'autres documents/réglementations ?



Évaluation systématique sur un territoire ?

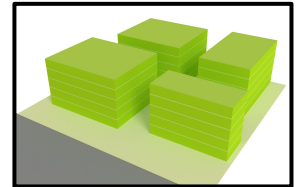
Proposition : Génération automatique de formes bâties

Plan de la présentation



Monde réel

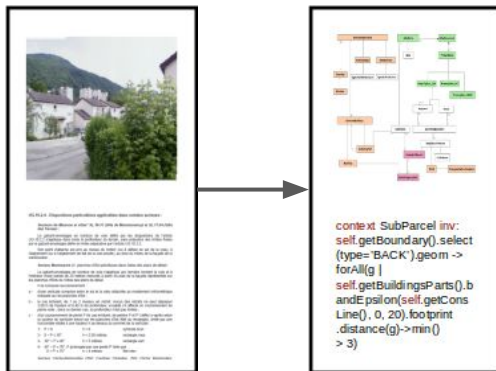
Simulateur SimPLU3D
(<http://simplu3d.github.io/>)



Formes bâties

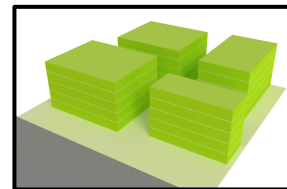
Plan de la présentation

Simulateur SimPLU3D
(<http://simplu3d.github.io/>)



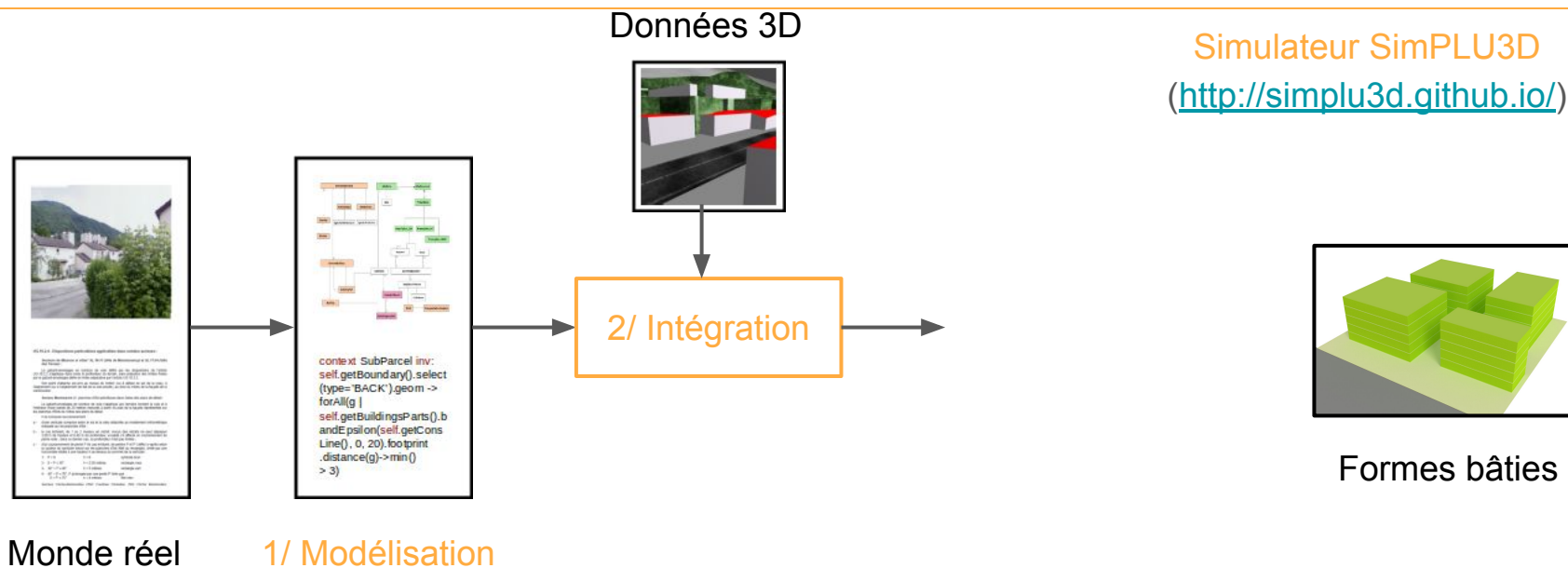
Monde réel

1/ Modélisation

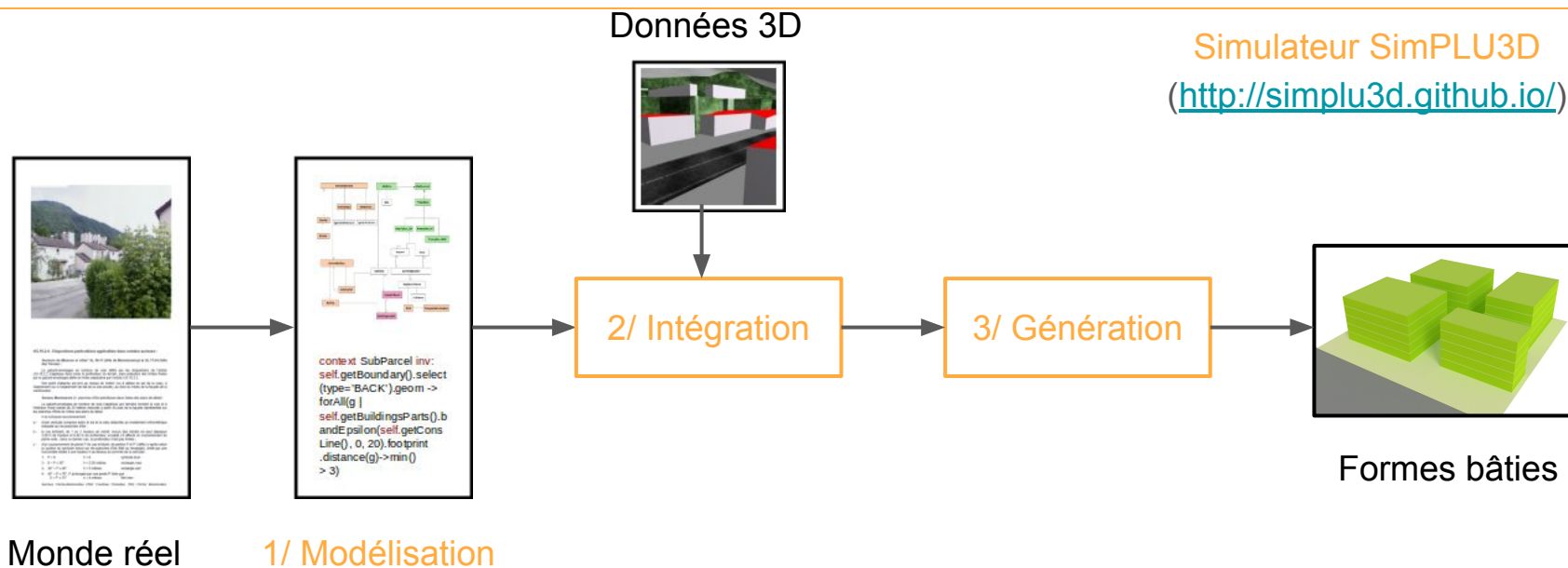


Formes bâties

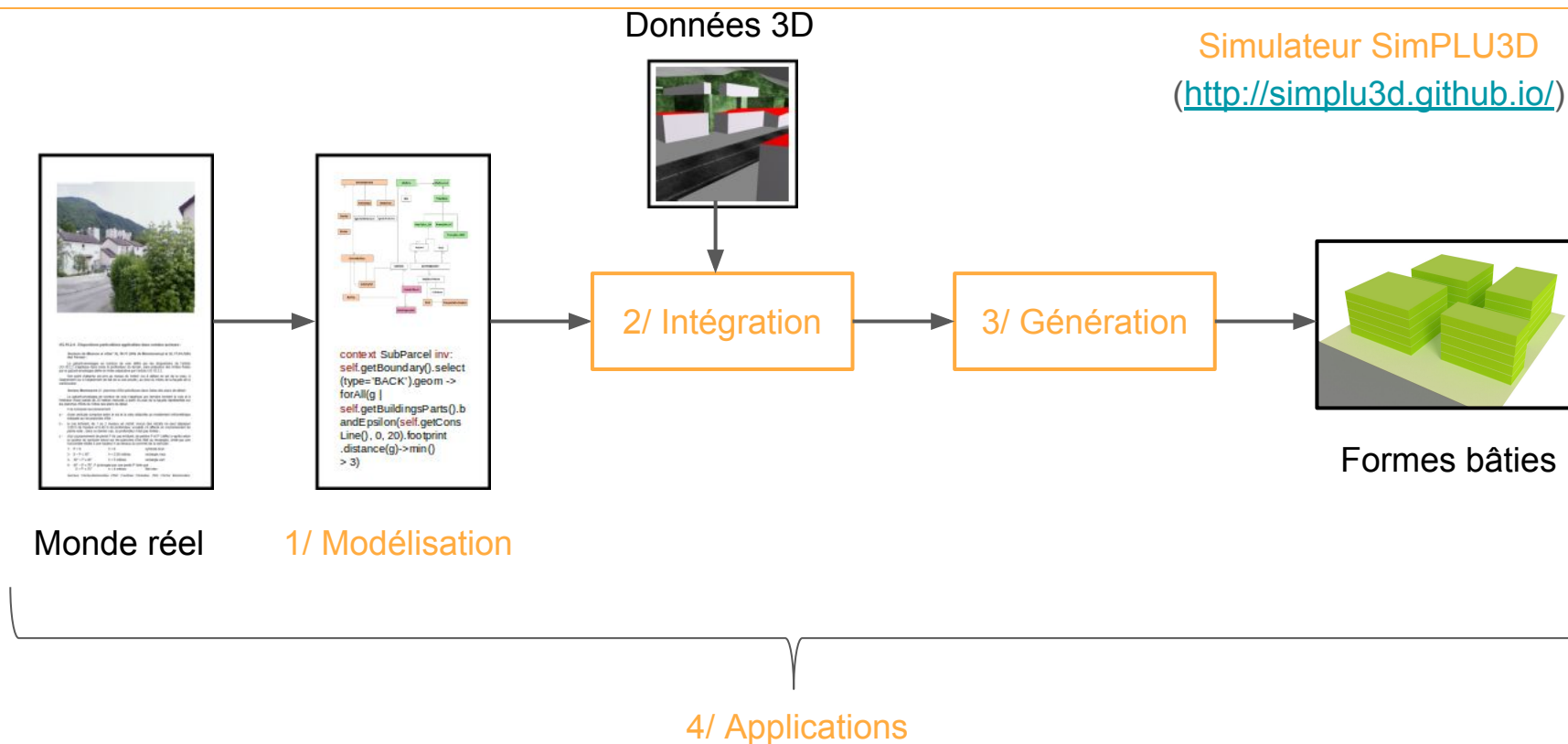
Plan de la présentation



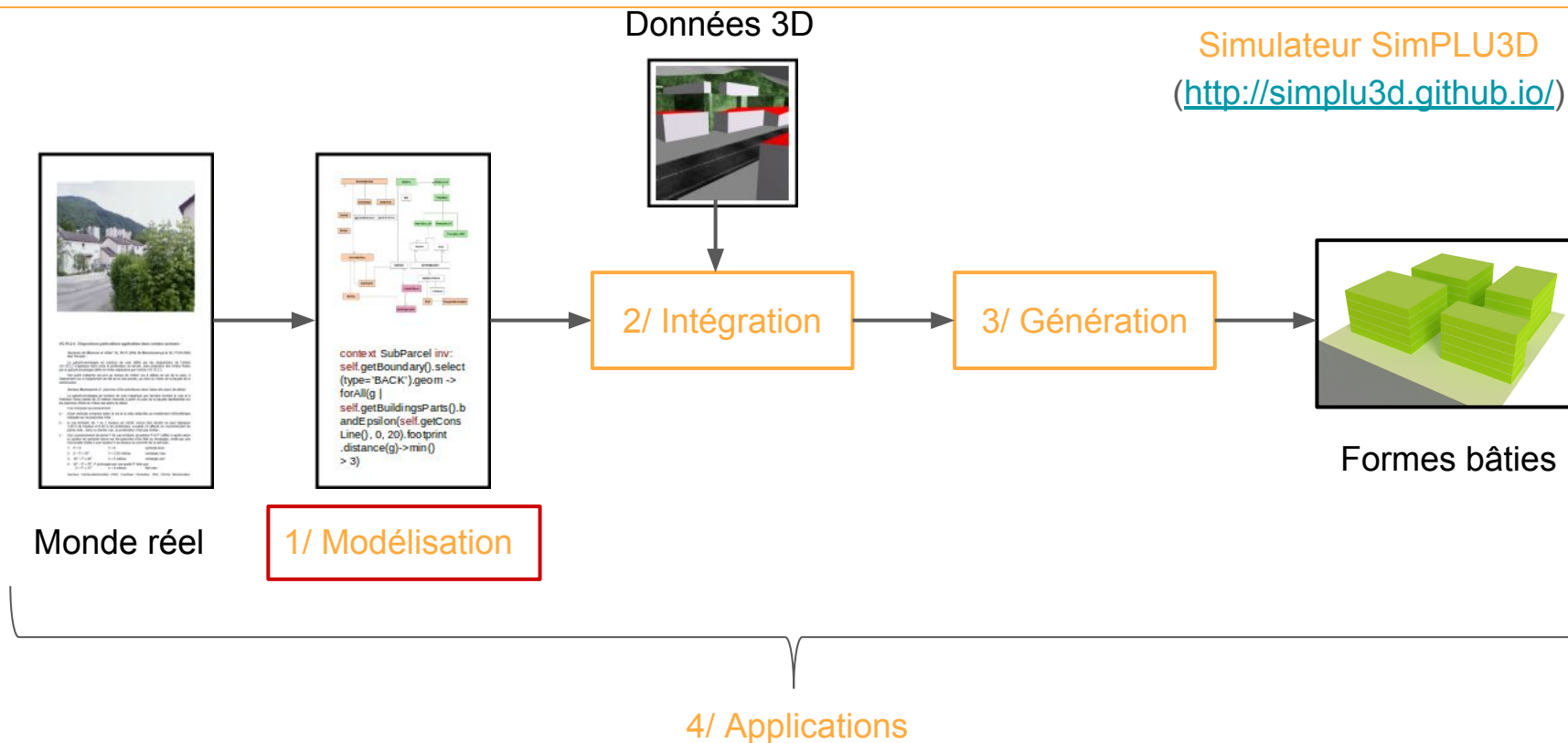
Plan de la présentation



Plan de la présentation



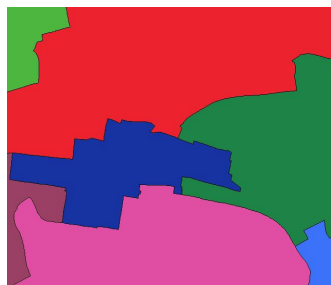
Plan de la présentation



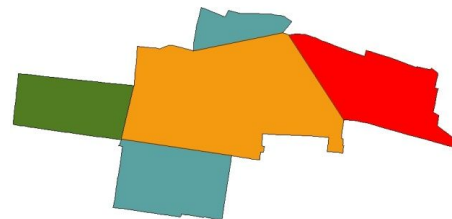
Modélisation du règlement

- Plans Locaux d'Urbanisme
 - Contenu régi par le code de l'urbanisme

Commune ou
intercommunalité



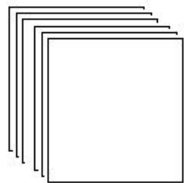
Zones



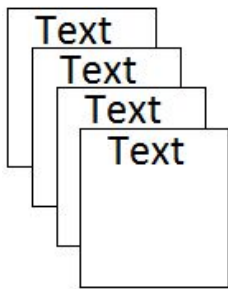
Types

U : Zone urbaine
UA : Zone ouverte à
l'urbanisation
N : Zone naturelle
A : Zone agricole

14 - 16 articles d'intitulés standards



Textes réglementaires

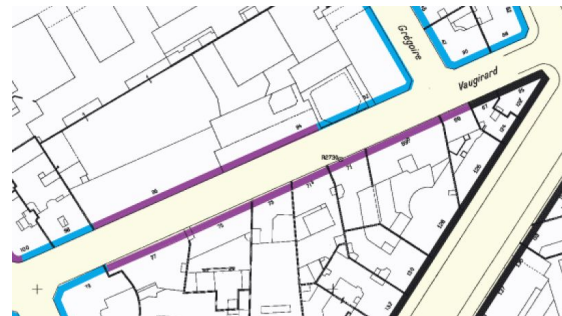
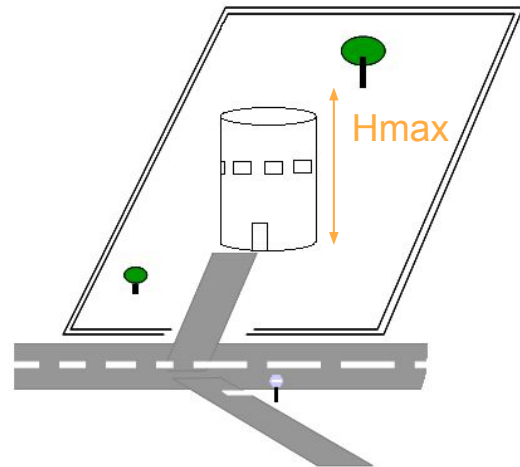


Modélisation du règlement

Articles :

- **Articles 1, 2** : Restrictions d'usage du sol
- **Articles 6, 7, 8** : Position des bâtiments relativement aux autres bâtiments, aux limites de parcelles ou à la voirie
- **Article 10** : Hauteur maximale
- **Article 11** : Aspect extérieur

Prescriptions graphiques



Modélisation du règlement

- Contenu défini localement
- Article 10 : Hauteur maximale des bâtiments



Nombre d'étages

Hauteur faîtage

Hauteur maximale par rapport
au point le plus haut du terrain

Hauteur à la gouttière

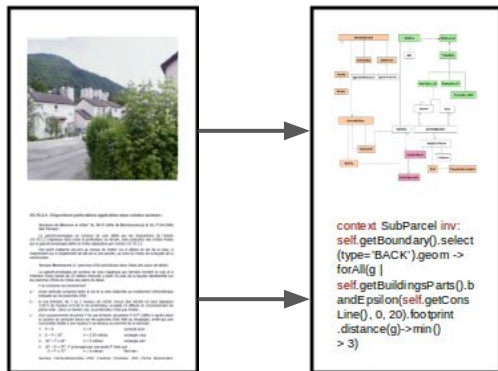
- Difficulté : prise en compte des spécificités locales

Modélisation du règlement

- Double objectif :

- Modéliser et organiser les concepts géographiques mentionnés dans les règlements ,
- Pouvoir formaliser les règles exprimées par le texte

- Proposition



Monde physique

Modèle UML

Règles OCL

Règle textuelle

«La distance comptée horizontalement de tout point du bâtiment à la limite séparative latérale la plus proche doit être au moins égale à 6 m. »

Règle OCL

context CadastralParcel

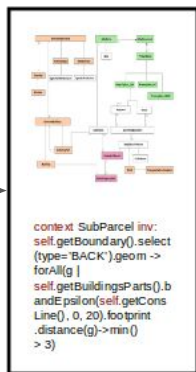
inv:

```
self.getBoundary().select(type=='LAT').geom -> forAll(g | self.getBuildings().footprint.distance(g) > 6)
```

Règlement

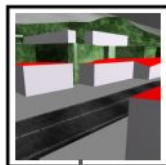


Monde réel



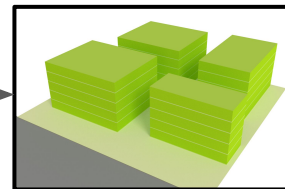
1/ Modélisation

Données 3D



2/ Intégration

3/ Génération



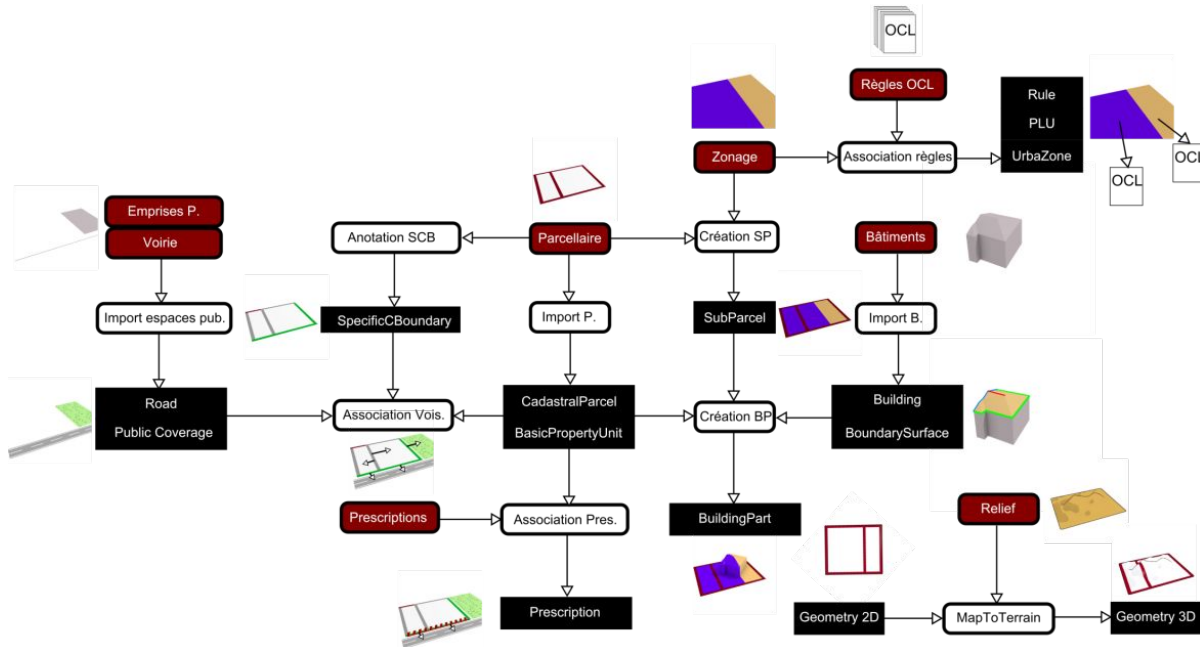
Formes bâties

Simulateur SimPLU3D
(<http://simplu3d.github.io/>)

4/ Applications

Intégration et enrichissement de données

Comment charger des données réelles dans la modélisation proposée ?






Deux exemples de processus d'intégration

Annotation de limites séparatives



Types de limite

-  Fond
-  Latéral
-  Voie

Classification des arêtes de toits

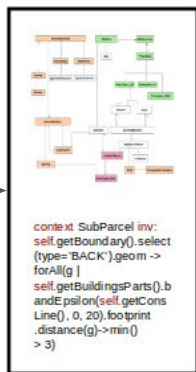


Types d'arête

-  Faitage
-  Pignon
-  Gouttière

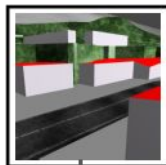


Monde réel



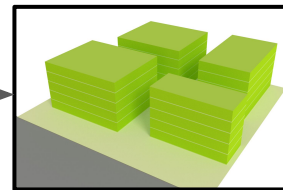
1/ Modélisation

Données 3D



2/ Intégration

3/ Génération

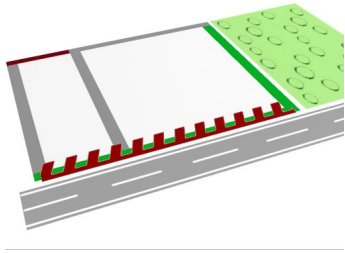


Formes bâties

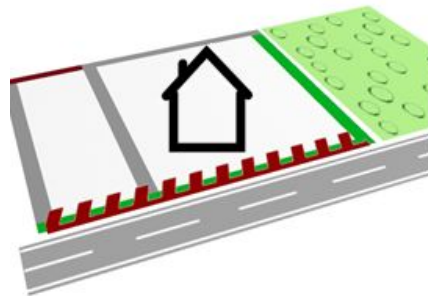
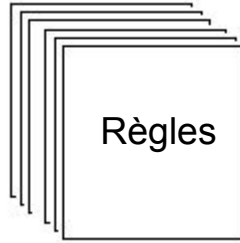
Simulateur SimPLU3D
(<http://simplu3d.github.io/>)

4/ Applications

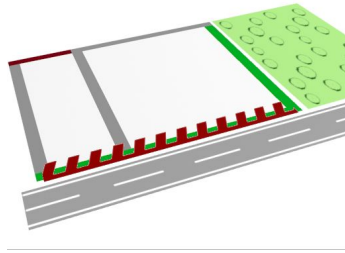
Définition du problème



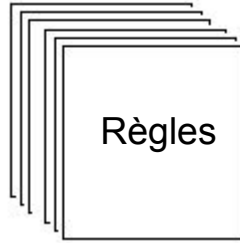
+



Définition du problème



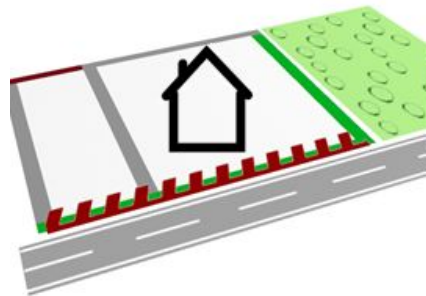
+



+



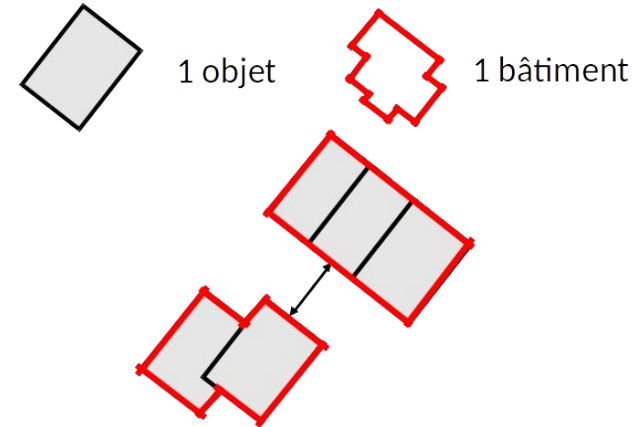
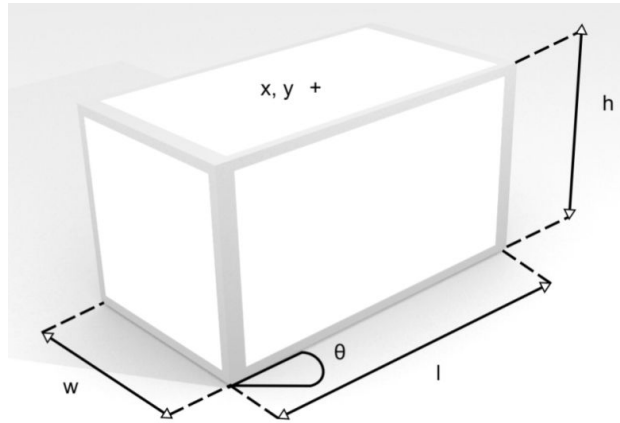
Fonction d'utilité



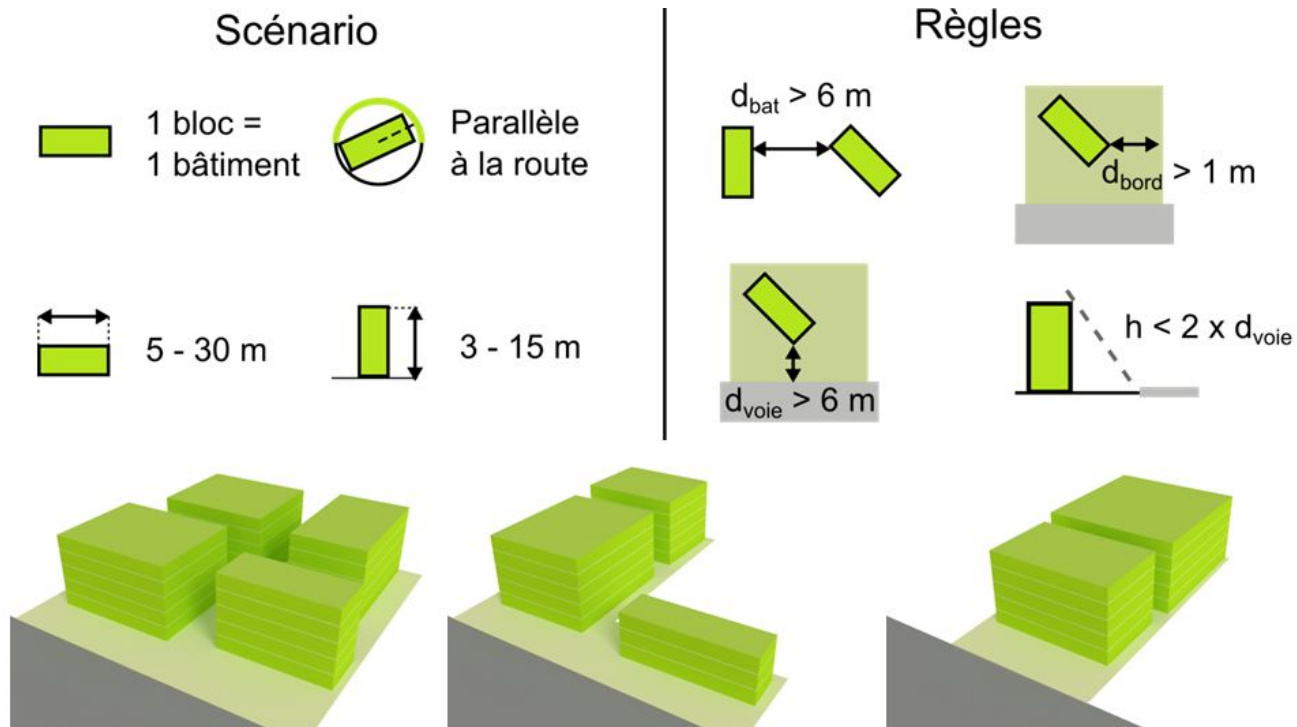
Problème
d'optimisation
sous contraintes

Génération de bâtiments

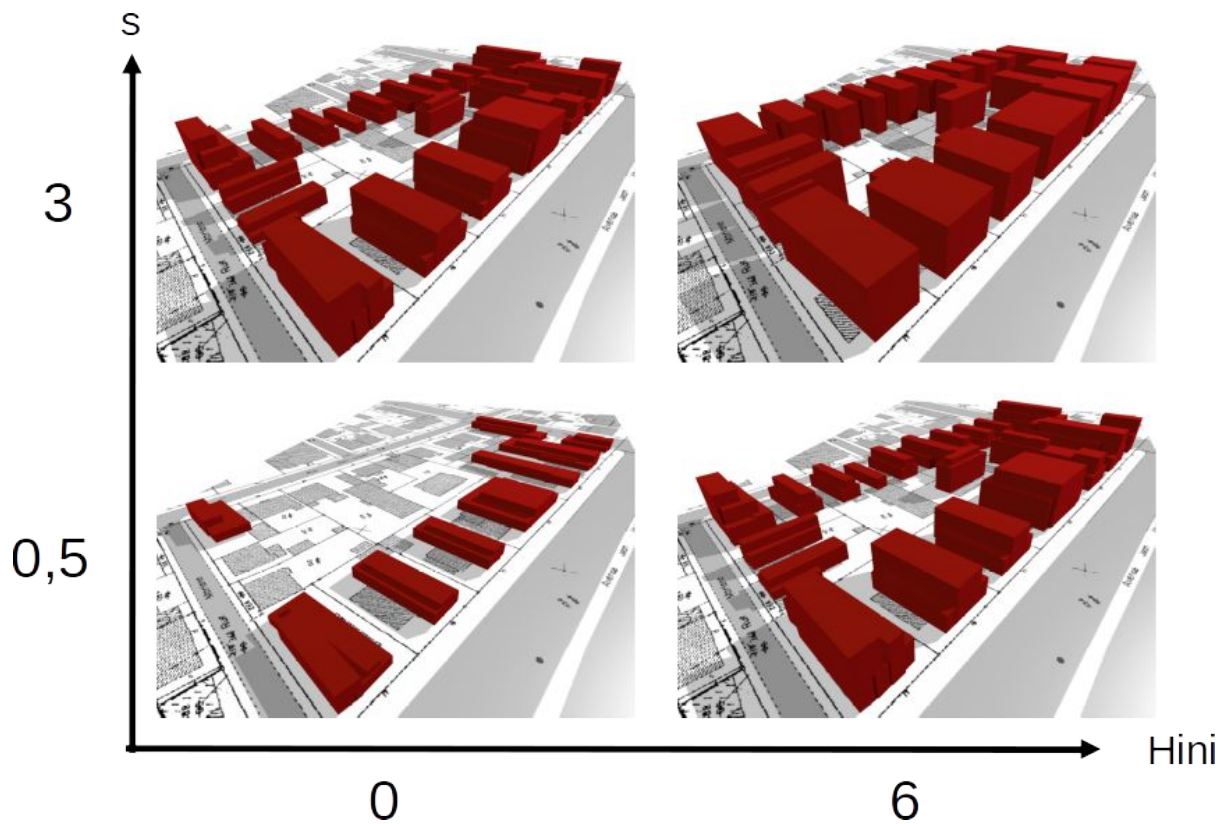
- Recuit simulé trans-dimensionnel :
 - Modélisation des configurations bâties par un ensemble d'objets paramétriques



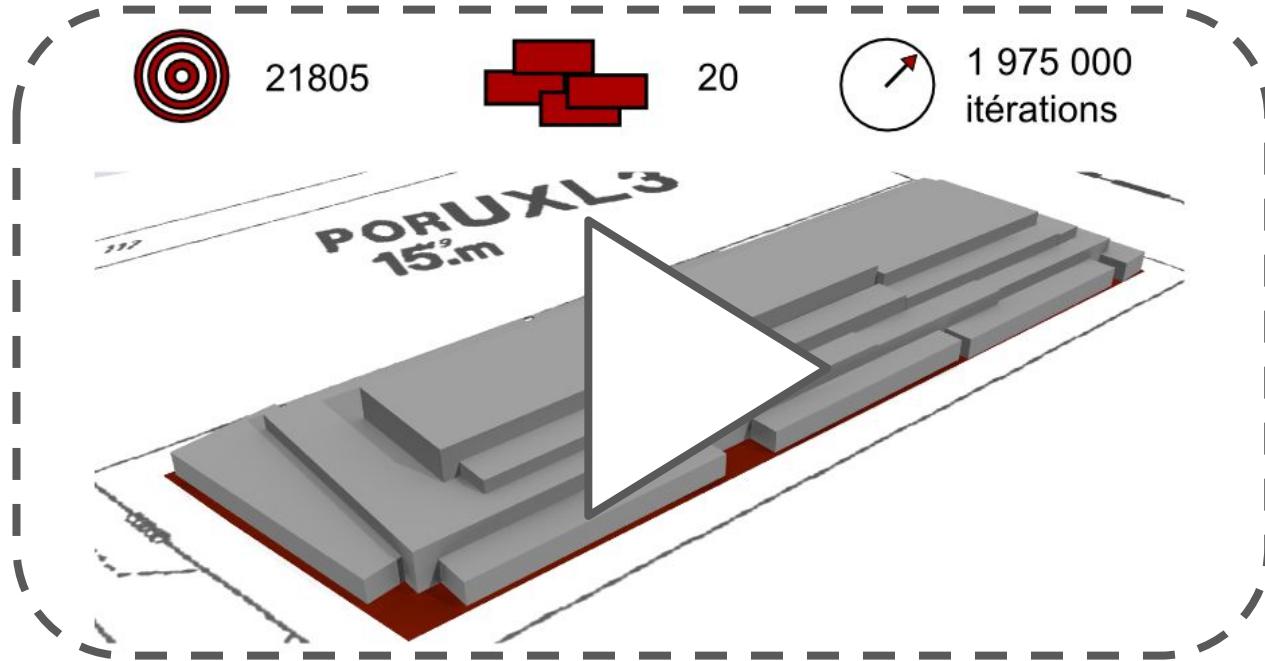
Premiers résultats : influence de la forme de la parcelle



Premiers résultats : influence des paramètres de règles

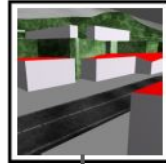
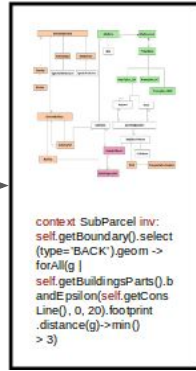


Démonstration : simulations basiques



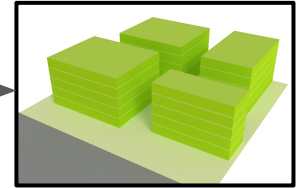
Données 3D

Simulateur SimPLU3D
(<http://simplu3d.github.io/>)



2/ Intégration

3/ Génération



Monde réel

1/ Modélisation

Formes bâties

4/ Applications

Simuler la constructibilité : de la parcelle à la Seine et Marne

- Mission de l'IAUIdF: évaluation de la constructibilité
 - Améliorer le suivi des documents d'urbanisme
 - Suivi du prix du foncier
- **Avant** : évaluation par le Coefficient d'Occupation des Sols (COS) , supprimé par la loi ALLUR (2014)
- **Proposition** : Développer un outil complémentaire aux simulateurs «opérationnels» en offrant une modélisation à grande échelle
 - Simulation de la constructibilité avec SimPLU

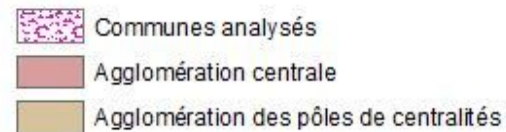
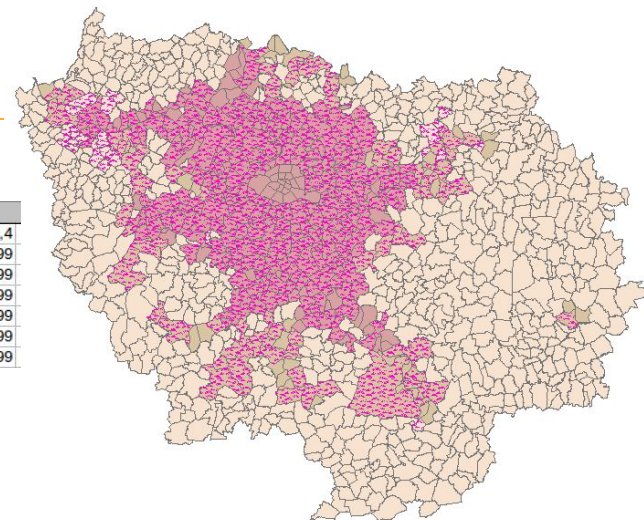
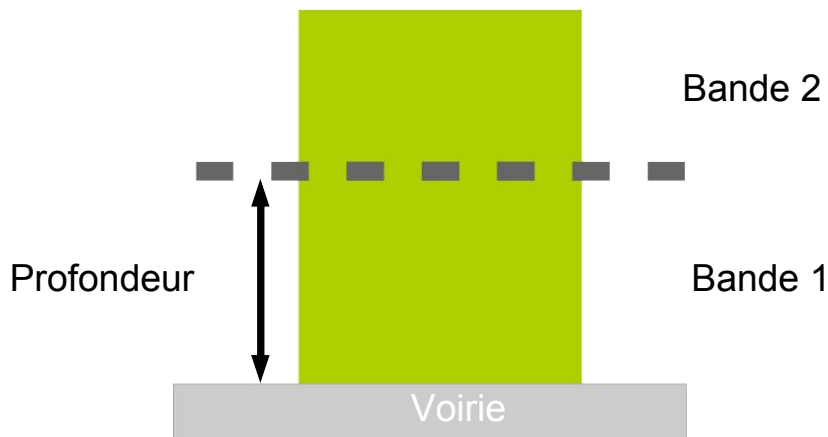


Données du PLU

- BD CartoPLU+ produite par l'IAUIDF

BANDE1	ART_51	ART_61	ART_711	ART_721	ART_731	ART_741	ART_81	ART_91
25	150	4	1	0	0	0	8	0,4
0	99	0	1	0	0	0	99	99
0	99	0	1	0	0	0	99	99
0	99	0	1	0	0	0	6	99
99	99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99	99
0	99	0	1	0	0	0	8	99

- Règles du PLU par zone sur les agglomérations
 - 2 bandes de constructibilité



Scénarisation de la simulation

- Paramétrage discuté et validé avec l'IAUIdF

Paramètres des boîtes



n boîtes inter.
= 1 forme



0 - 180°

5 - 100 m

4 - 15 m

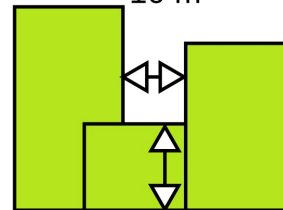


3 - 25 m

Contraintes sur la forme bâtie

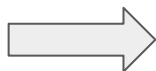
Distance de vis-à-vis :

10 m



largeur max. de la forme :
15 m

- 5 minutes par parcelle
- 1 400 000 parcelles



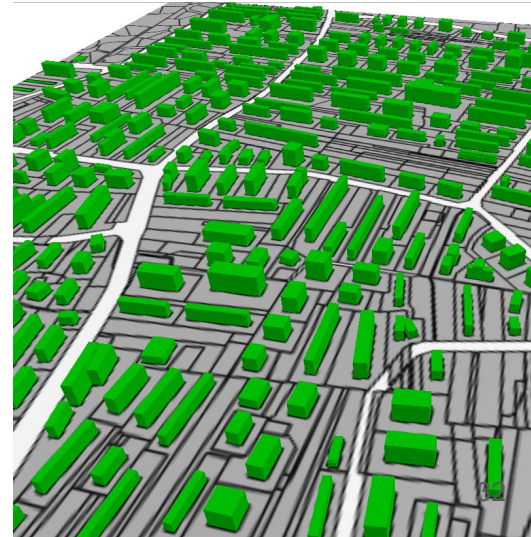
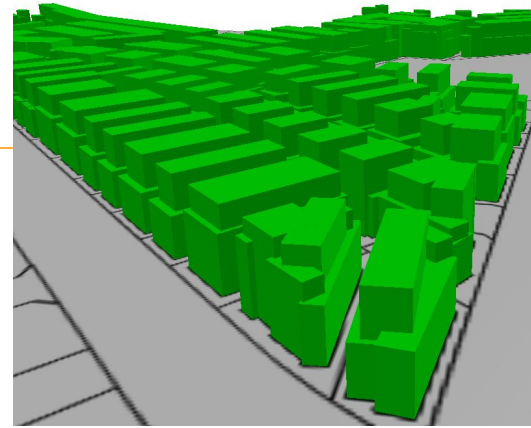
Nécessité de distribuer les calculs

Résultats

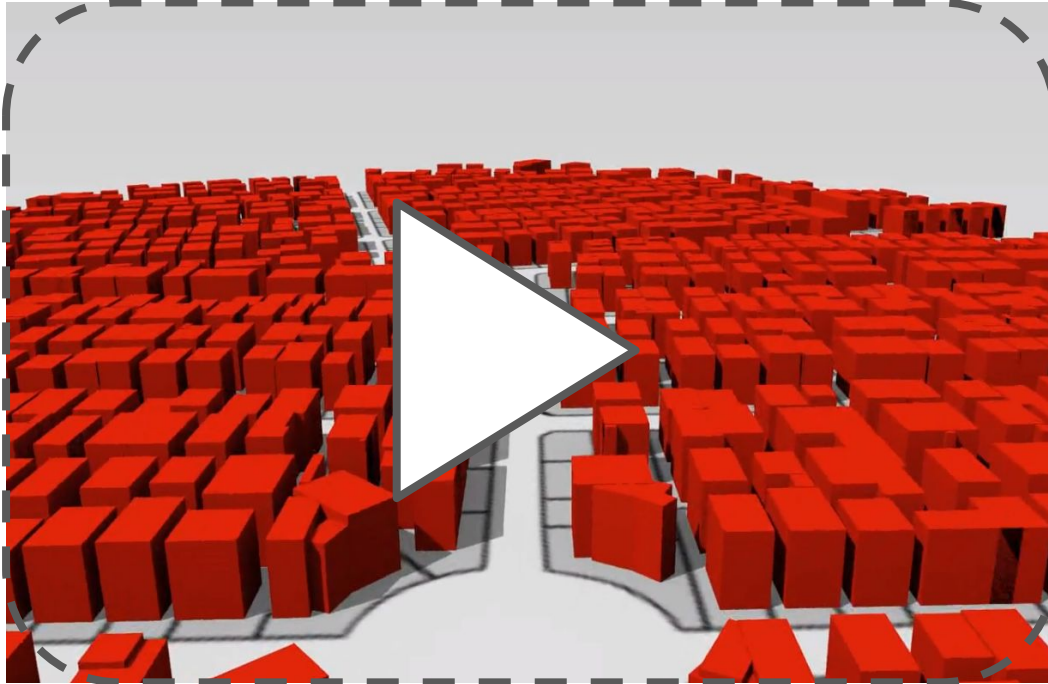
- Production de tests sur la Seine et Marne
- Découpage par îlots

- Différents tissus produits à partir d'un même paramétrage du générateur de formes

- 19 ans de calcul sur une machine
→ 5 jours grâce à la distribution



Démonstration : Simulation de différents tissus

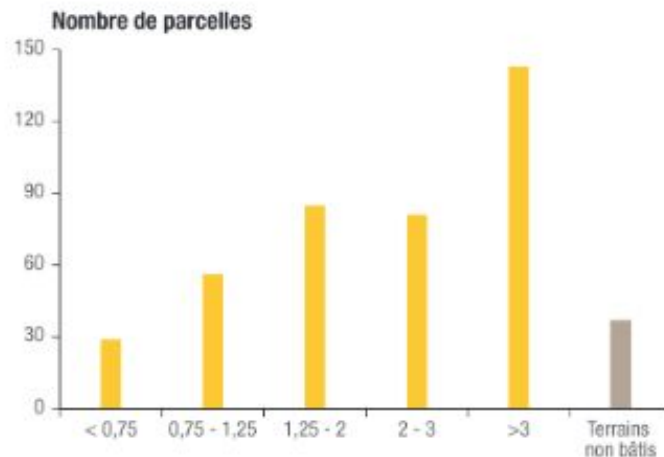


Future exploitation des résultats

- Identification de potentiels fonciers :
 - comparatif par rapport aux bâtiments existants
- Production finale 2018



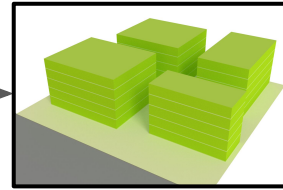
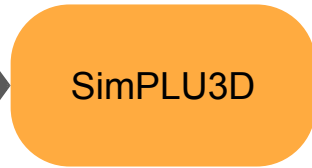
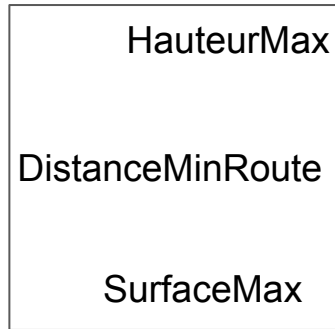
Ratio entre la surface de plancher modélisée et l'existant : des capacités de construction encore importantes



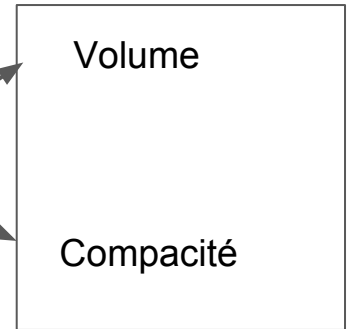
Aide à la conception de documents d'aménagement

Quels sont les PLU qui permettent d'atteindre des objectifs définis par des indicateurs ?

Entrées (paramètres de règles)



Sorties (indicateurs morpho.)



Pattern Space Exploration (PSE)

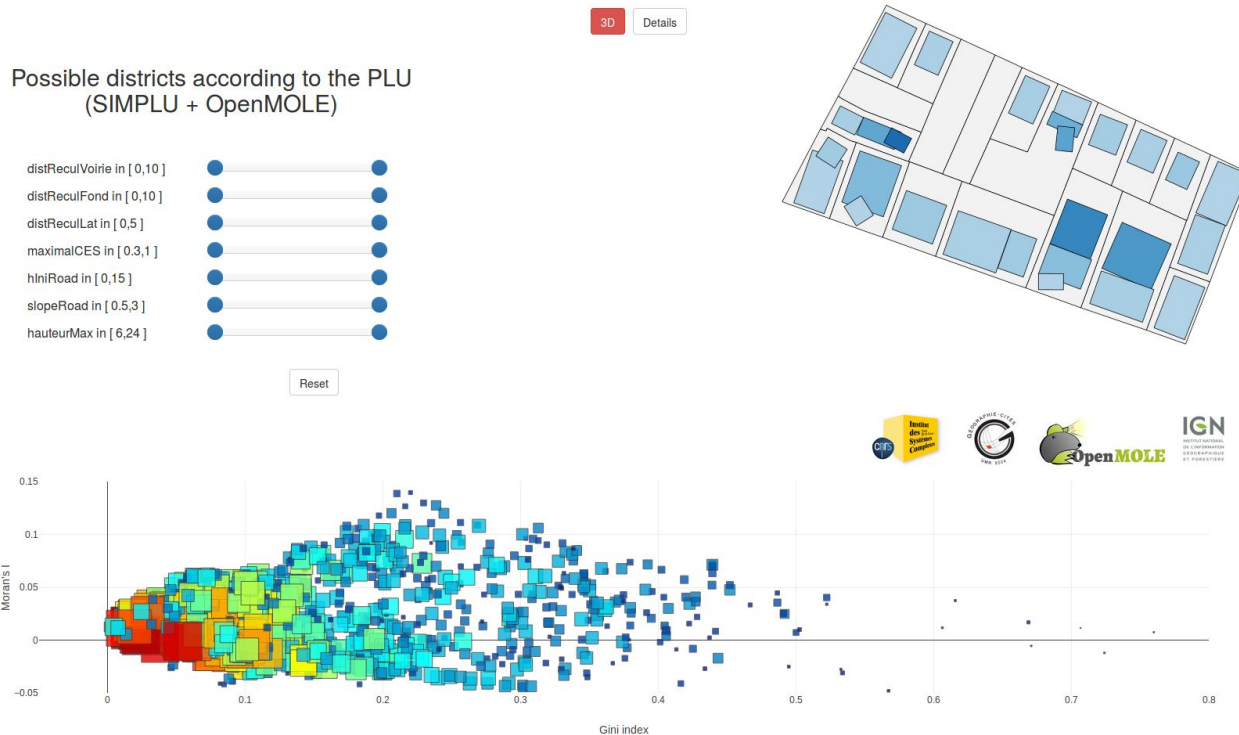
- **Méthode évolutionnaire** d'exploration de l'espace des sorties d'un modèle
- Objectif : **maximiser la diversité** des motifs découverts dans l'espace des sorties en échantillonnant l'espace d'entrée
- Heuristique : les entrées qui donnent des motifs **rares** sont plus souvent choisies et croisées .
- Motifs = combinaisons de valeurs de **mesures**

Mesures

- **Indice de Gini** : inégalité de la distribution des volumes des bâtiments
- **Indice de Moran** : auto-corrélation spatiale des volumes des bâtiments dans l'îlot
- **Densité de plancher** : ratio surface disponible à chaque étage / surface de l'îlot
- **CoverageRatio** : ratio surface bâtie / surface de l'îlot
- Mesures évaluables quel que soit l'îlot
 - Pas de mesures se référant à des spécificités locales

Prototype d'outil d'aide à la décision

- Accessible en ligne (<https://simplu.openmole.org/>)



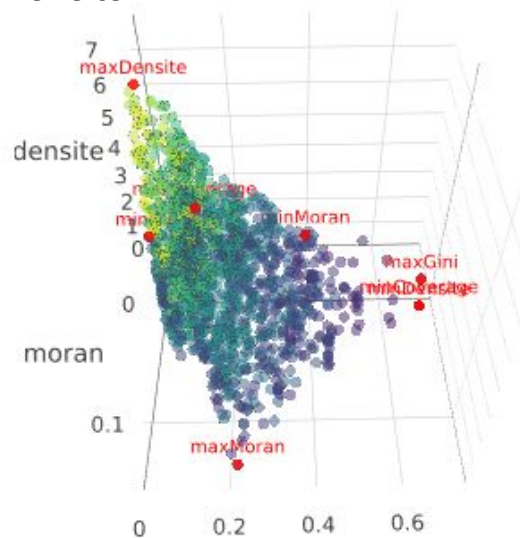
Conclusion

- Présentation d'outil de simulation de formes bâties à partir de la réglementation locale
- Méthode générique d'optimisation sous contraintes
- Deux applications :
 - l'évaluation des potentiels fonciers
 - l'aide à conception de PLU

Perspectives

- Vers un système d'exploration des formes bâties centré sur l'énergie
 - Comment améliorer l'articulation entre PCET et PLU ?

Densité



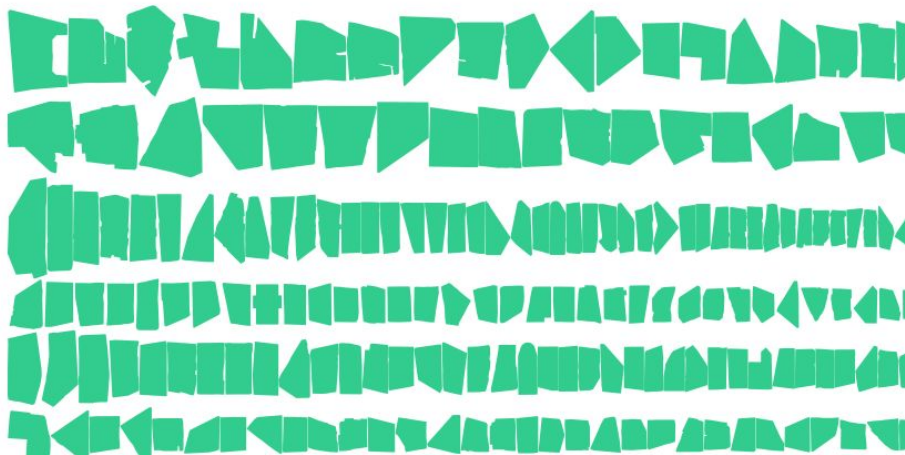
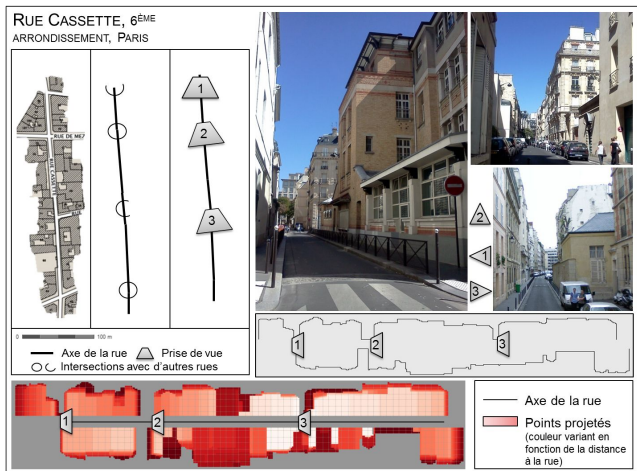
Énergie



Intégration du bâti
dans l'existant

Perspectives

- Vers un système d'exploration des formes bâties centré sur l'énergie
- **Intégration du bâtiment :**
 - Intégrer de nouvelles formes de densifications (extension, ajout d'étage, etc.)
 - Définir des métriques pour évaluer l'intégration architecturale dans un quartier
 - Prise en compte de connaissances expertes d'urbanistes

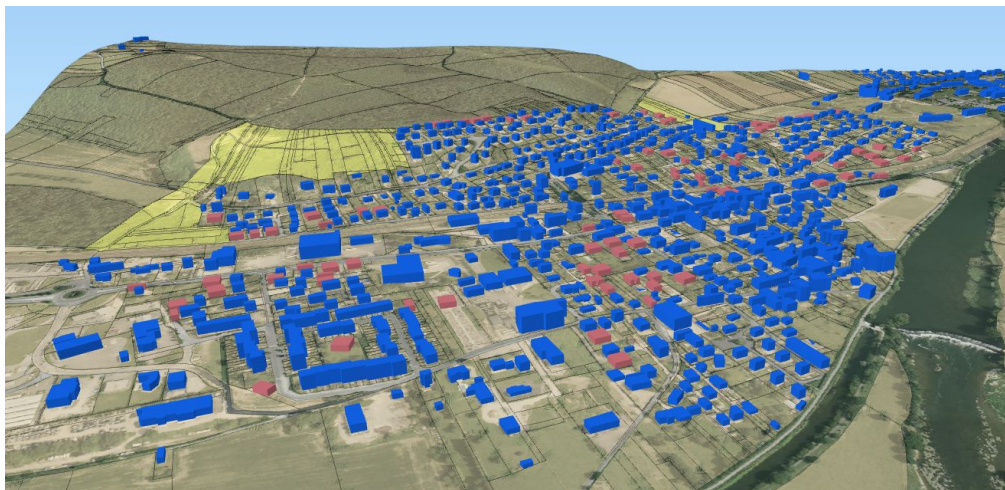


Perspectives

- Vers un système d'exploration des formes bâties centré sur l'énergie
- Intégration du bâtiment
- **Prise en compte des aspects énergétiques :**
 - Comment définir une évaluation énergétique rapide et robuste à l'échelle de l'îlot ?
 - Qualifier les incertitudes vis à vis des données et de la méthode
 - Calibration par rapport à des estimations précises
 - Extrapolation de connaissances non disponibles (matériau des bâtiments, âge du bâtiment, etc.)

Perspectives

- Vers un système d'exploration des formes bâties centré sur l'énergie
- Intégration du bâtiment
- Prise en compte des aspects énergétiques
- Vers une approche multi-échelle



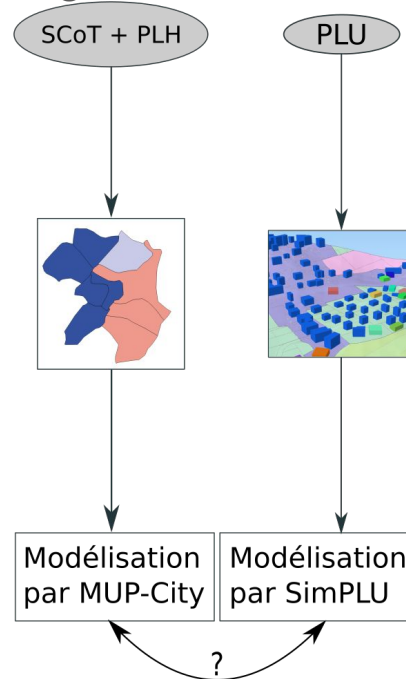
[Colomb, 2017]

Zonage du PLU

Zone Ua
Zone Ub

Zone Ue ou UI
Zone AU

Zone N ou A

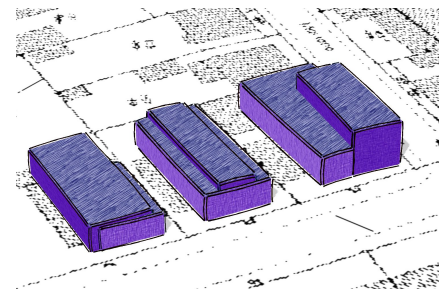
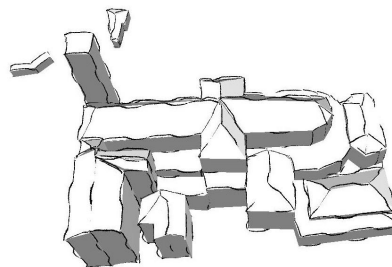
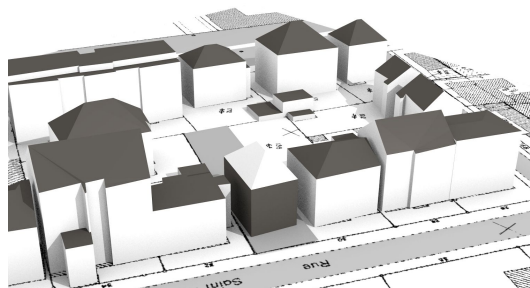


Merci de votre attention

E-mail : mickael.brasebin@gmail.com

Site Internet : [mbrasebin@github.io](https://mbrasebin.github.io)

Compte Github : <https://github.com/mbrasebin>



Bibliographie

- Brasebin, M (2009) [GeOxygene: An Open 3D Framework for the Development of Geographic Applications](#), 12th International Conference on Geographic Information Science (AGILE)
- Brasebin, M., Perret, J., Mustière, S. and Weber C. (2016) [3D urban data to assess local urban regulation influence](#), Computers, Environment and Urban Systems, 2017, ISSN 0198-9715,
- Brasebin, M., Chapron, P., Chérel, G., Leclaire, M., Lokhat, I., Perret, J. and Reuillon, R. (2017) [Apports des méthodes d'exploration et de distribution appliquées à la simulation des droits à bâti](#), Actes du Colloque International de Géomatique et d'Analyse Spatiale (SAGEO 2017)
- Chérel G., Reuillon R., Cottineau C. (2015). [Beyond corroboration: strengthening model validation by looking for unexpected patterns](#). PloS one, p. 20.
- Colomb, M. (2017) [Simulation de formes réalistes de développement résidentiel, de l'échelle du bâtiment à celle de l'ensemble d'une région urbaine](#), Poster journées de la recherche IGN 2017, march 2017
- Fund, M. (2012) [Exploitabilité des bases de données 3D pour le calcul d'indicateurs urbains 3D](#), Rapport de stage, Encadrement Mickaël Brasebin et Julien Perret, M2 Information Géographique & M2 Génie urbain, Université Paris Est MLV, ENSG, sep 2012