

Les données géographiques 3D pour simuler l'impact de la réglementation urbaine sur la morphologie du bâti



Mickaël Brasebin
ED MSTIC – Option STIG

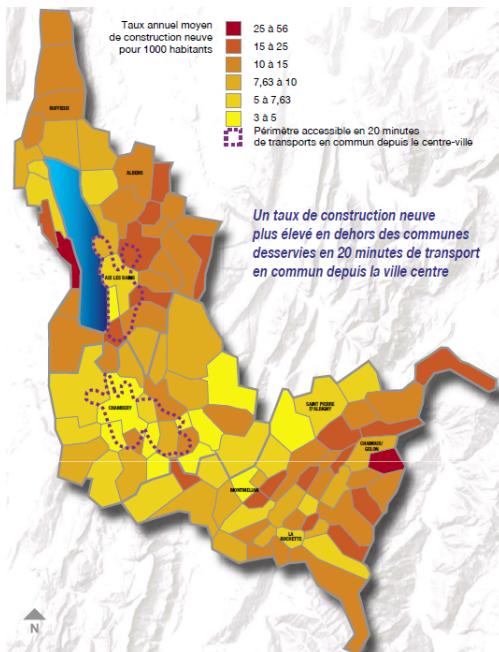
Direction :
Sébastien Mustière (COGIT) et Christiane Weber (LIVE)

Encadrement :
Julien Perret (COGIT)

Contexte

- La ville au centre de nombreux enjeux
- Documents d'aménagement du territoire

Schéma COhérence Territorial



Plan Déplacement Urbain



Suivi du SCOT [Savoie Métropole]

Projet Eval-PDU

- Enjeu : Évaluer l'influence d'un document sur le territoire.

Contexte

- Règlements locaux d'urbanisme
- Document d'urbanisme opérationnel
- Régulation de la constructibilité
 - Contraintes **morphologiques 3D**, fonctionnelles et d'aspect.
- Type de document international
 - France : Plans Locaux d'Urbanisme (PLU)
- Enjeu : Évaluation de la constructibilité

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'îlot 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'îlots de l'Atlas des plans de détail.

Il se compose successivement :

- a - d'une verticale comprise entre le sol et la cote rattachée au nivellement orthométrique indiquée sur les planches d'îlot ;
- b - 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 ;
- c - d'un couronnement de pente P (le cas échéant, de pentes P et P' définis ci-après selon la couleur du symbole inscrit sur les planches d'îlot (fillet 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 ≤ 30°	h = 2,50 mètres	rectangle rose
3- 30° < P ≤ 45°	h = 5 mètres	rectangle vert
4- 45° < P ≤ 70°, P prolongée par une pente P' telle que 0 < P' ≤ 15°	h = 4 mètres	fillet bleu

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

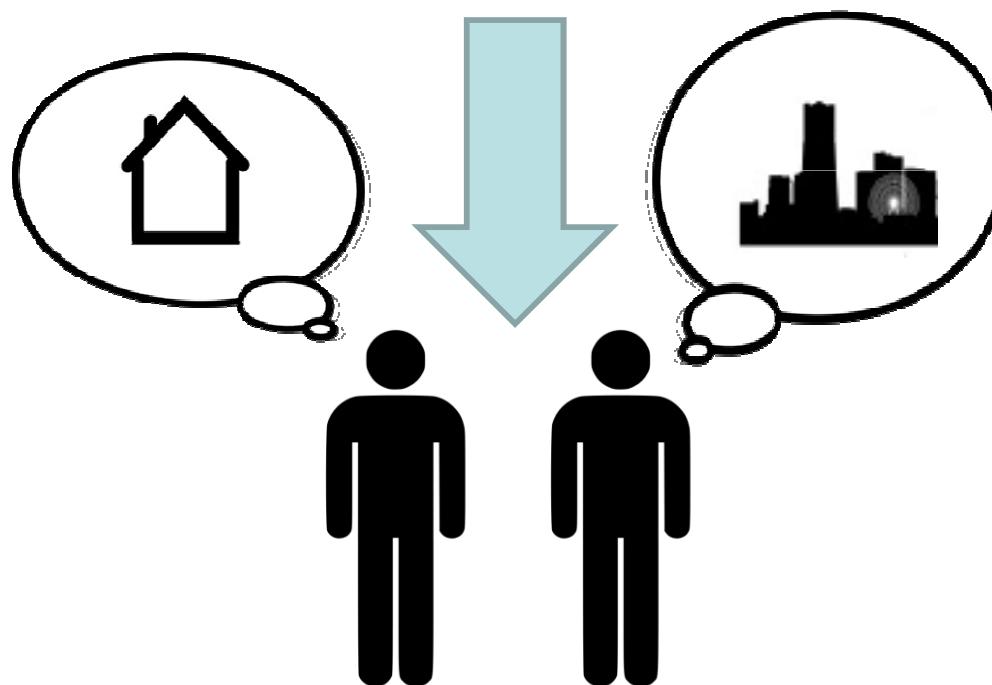
Les dispositions de l'article UG.10.2.1 sont remplacées par les dispositions suivantes en bordure des voies citées ci-après :

- 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

Règlement du PLU – tome 1 – Zone UG
- page 51-

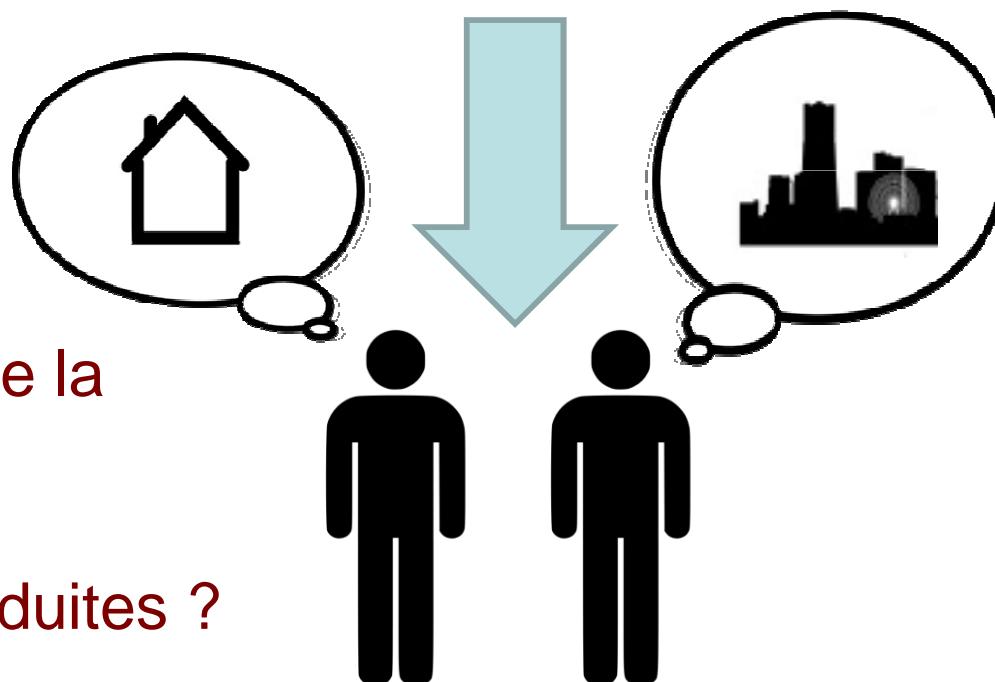
- Problématique
 - Communication du document auprès du public

« 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. »



- Problématique
 - Communication du document auprès du public

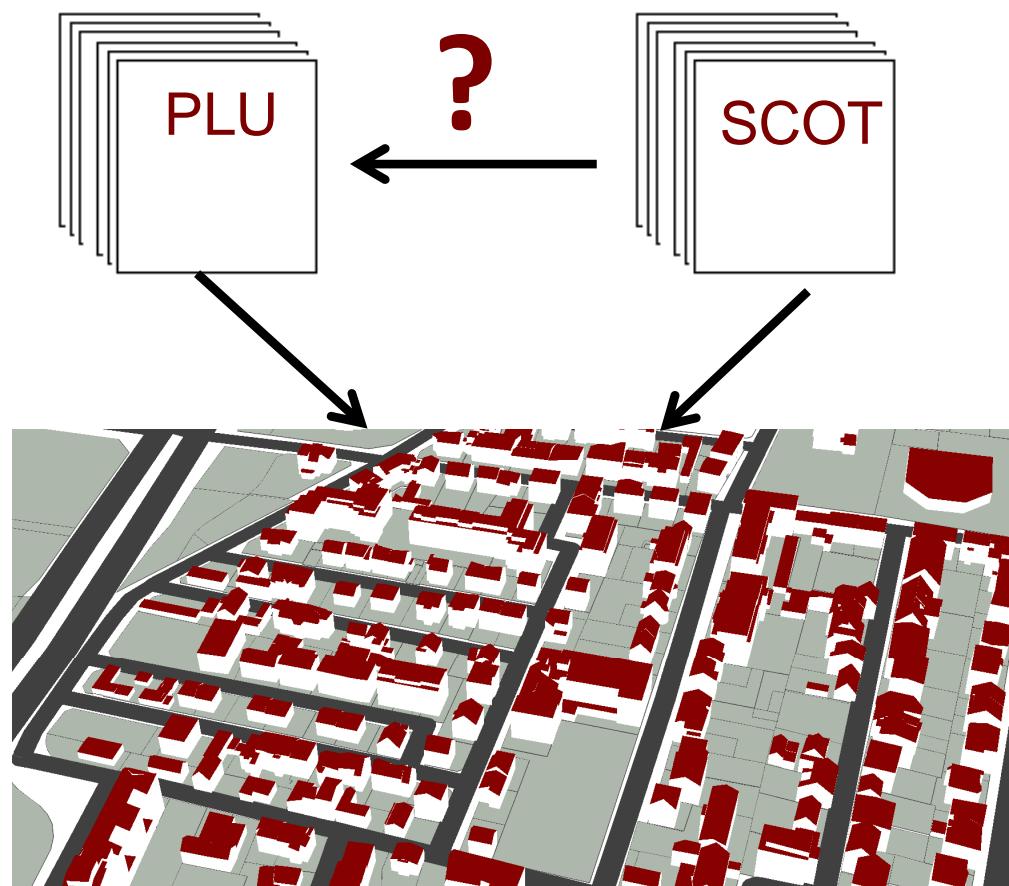
« La distance comptée horizontalement de tout point du bâtiment au point de la limite parcellaire qui en est le plus rapproché doit être au moins égale à la moitié de la différence d'altitude entre ces deux points. »



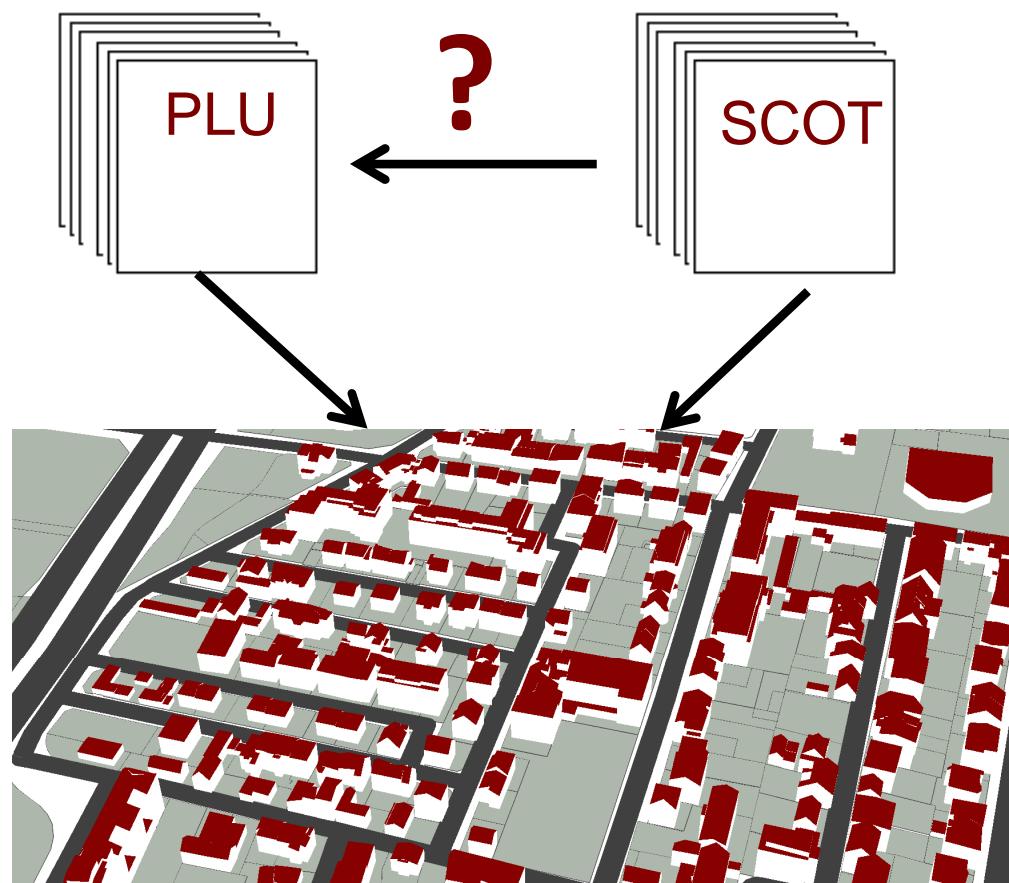
Compréhension de la réglementation ?

Constructions produites ?

- Problématique
 - Compatibilité avec les documents d'urbanisme de niveau supérieur



- Problématique
 - Compatibilité avec les documents d'urbanisme de niveau supérieur



Constructions produites ?

Influence potentielle du règlement sur l'évolution d'un territoire ?

Contexte

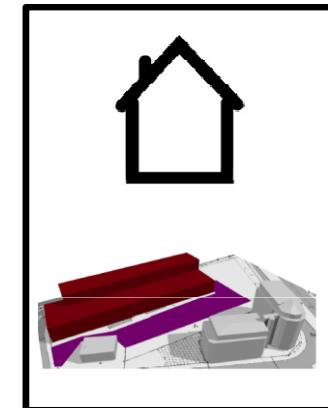
- Problématiques :
 - Compréhension de la réglementation ?
 - Constructions produites ?
 - Influence potentielle du règlement sur l'évolution d'un territoire ?
- Notre proposition pour évaluer l'influence de la réglementation :
 - Simuler des configurations bâties à partir des règlements locaux d'urbanisme

Plan de la présentation

Monde réel



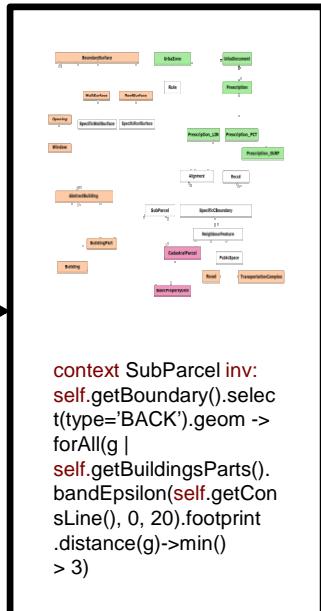
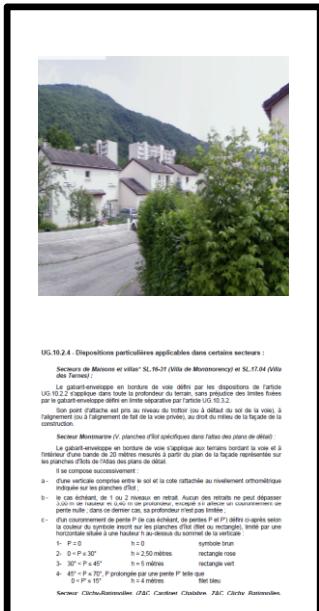
Bâtiments



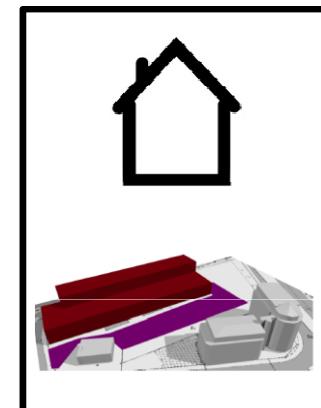
Plan de la présentation

Monde réel

1 - Modélisation



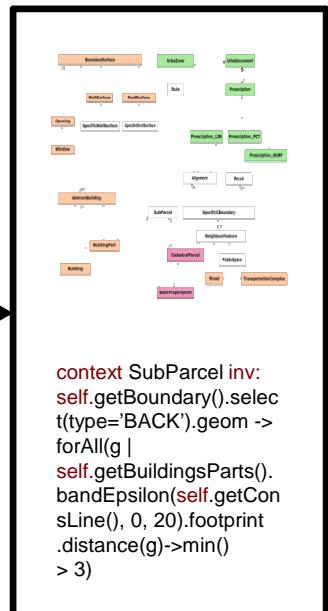
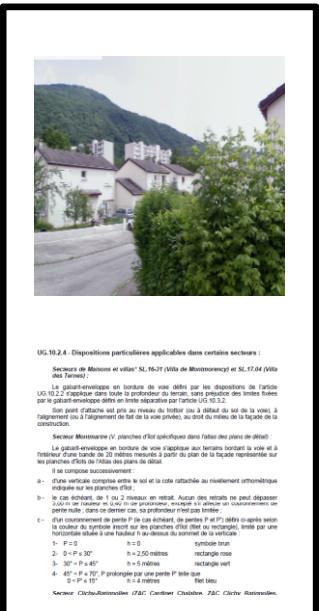
Bâtiments



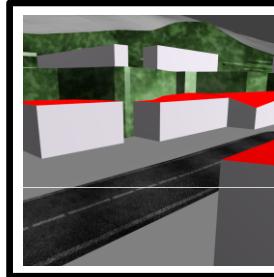
Plan de la présentation

Monde réel

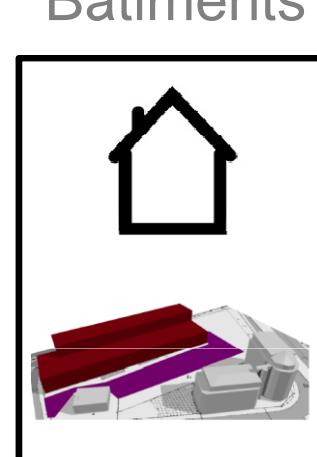
1 - Modélisation



Données géographiques

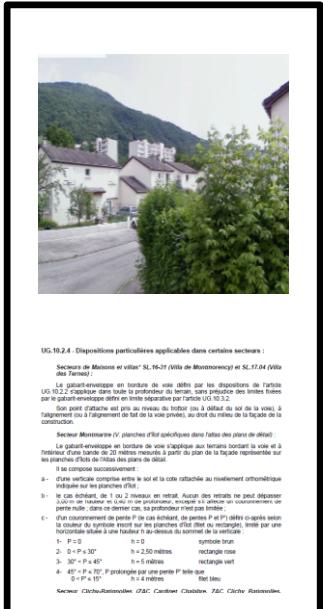


2 - Intégration

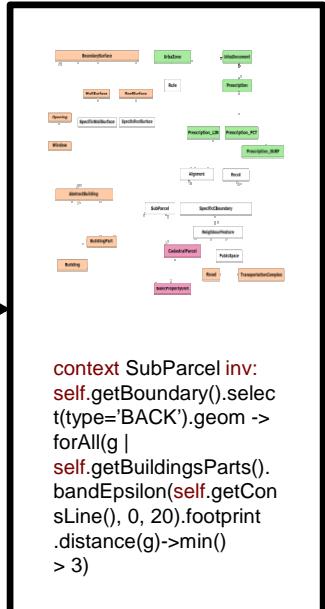


Plan de la présentation

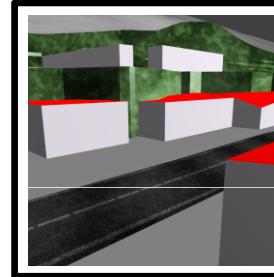
Monde réel



1 - Modélisation

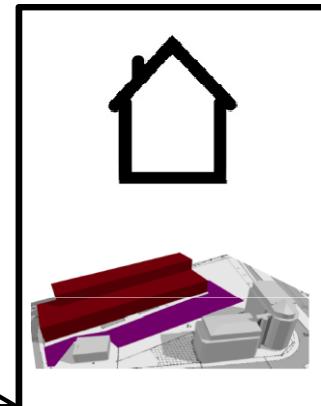


Données géographiques



2 - Intégration

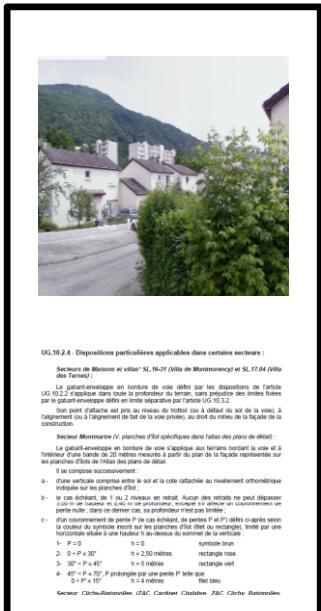
Bâtiments



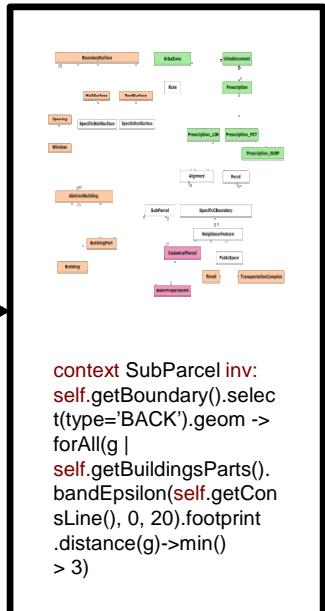
3 - Génération

Plan de la présentation

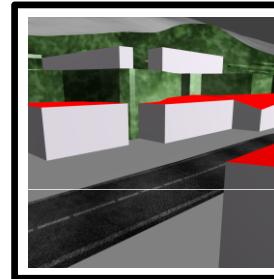
Monde réel



1 - Modélisation

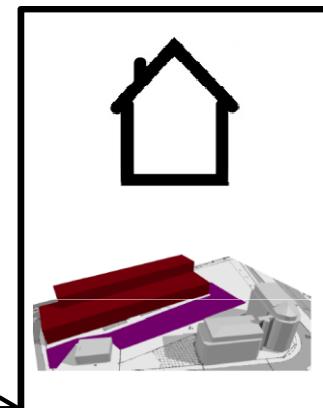


Données géographiques



2 - Intégration

Bâtiments



3 - Génération

4 - Expérimentations

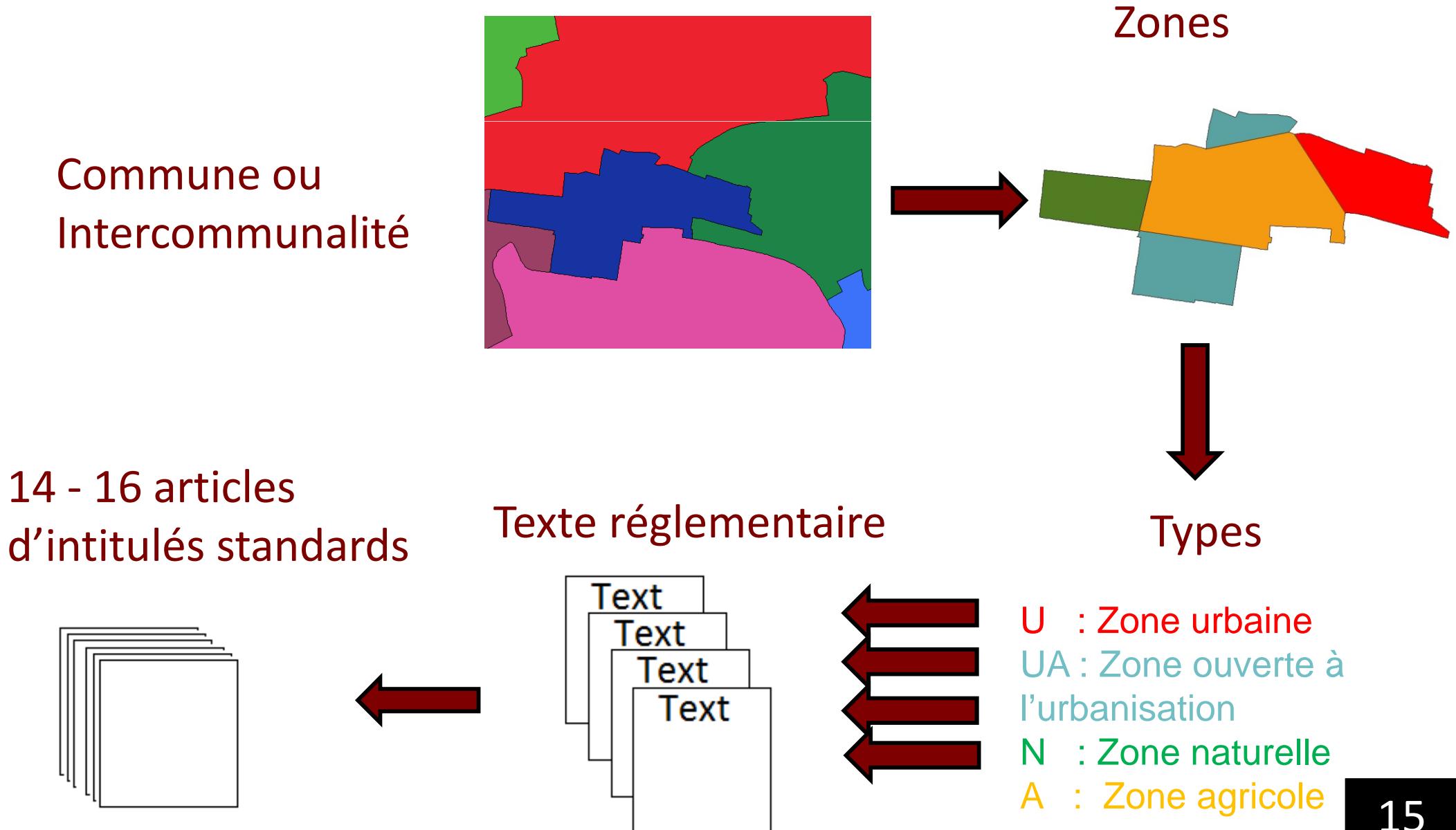


1 - MODÉLISATION DU RÈGLEMENT

- 2 - Intégration et enrichissement des données
- 3 - Génération de bâtiments
- 4 - Expérimentations

Modélisation du règlement

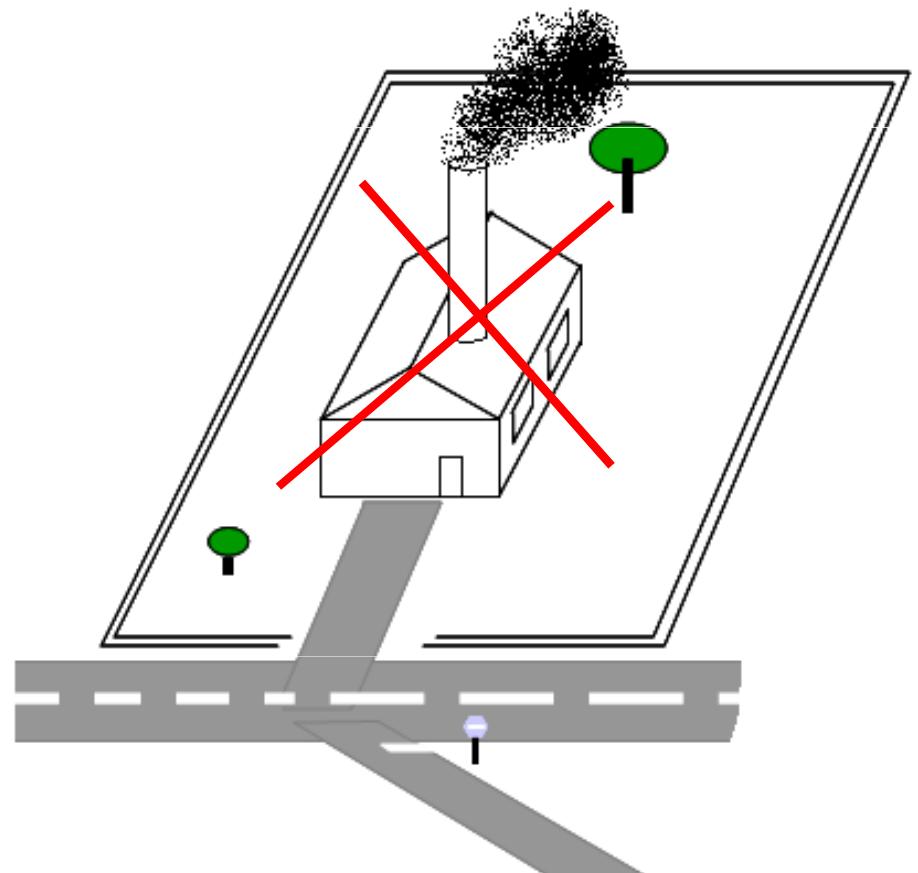
- Les Plans Locaux d'Urbanisme
 - Contenu régi par le Code de l'Urbanisme



Modélisation du règlement

- Articles (Code de l'Urbanisme)

Articles 1, 2 : Restrictions d'usage du sol

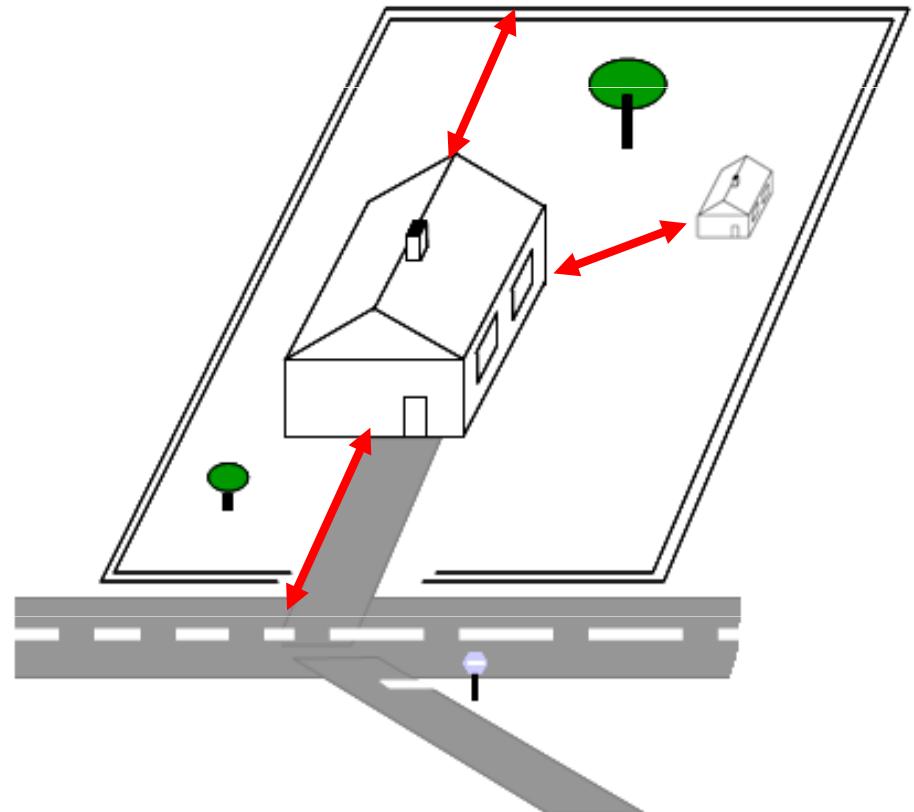


Modélisation du règlement

- Articles (Code de l'Urbanisme)

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



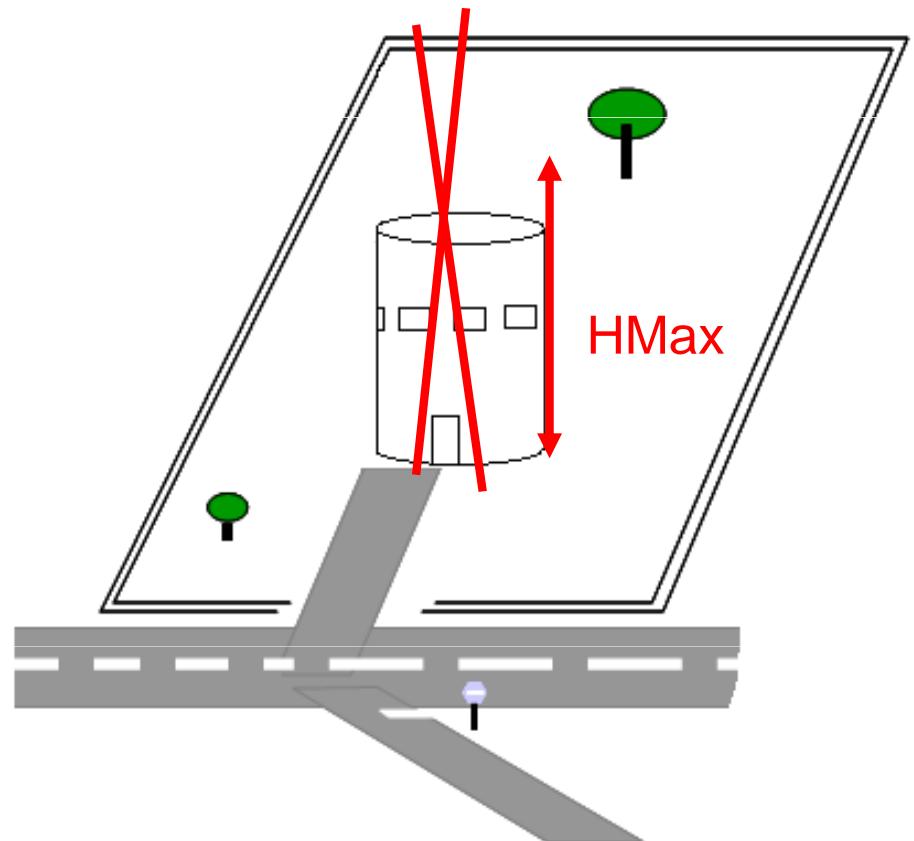
Modélisation du règlement

- Articles (Code de l'Urbanisme)

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



Modélisation du règlement

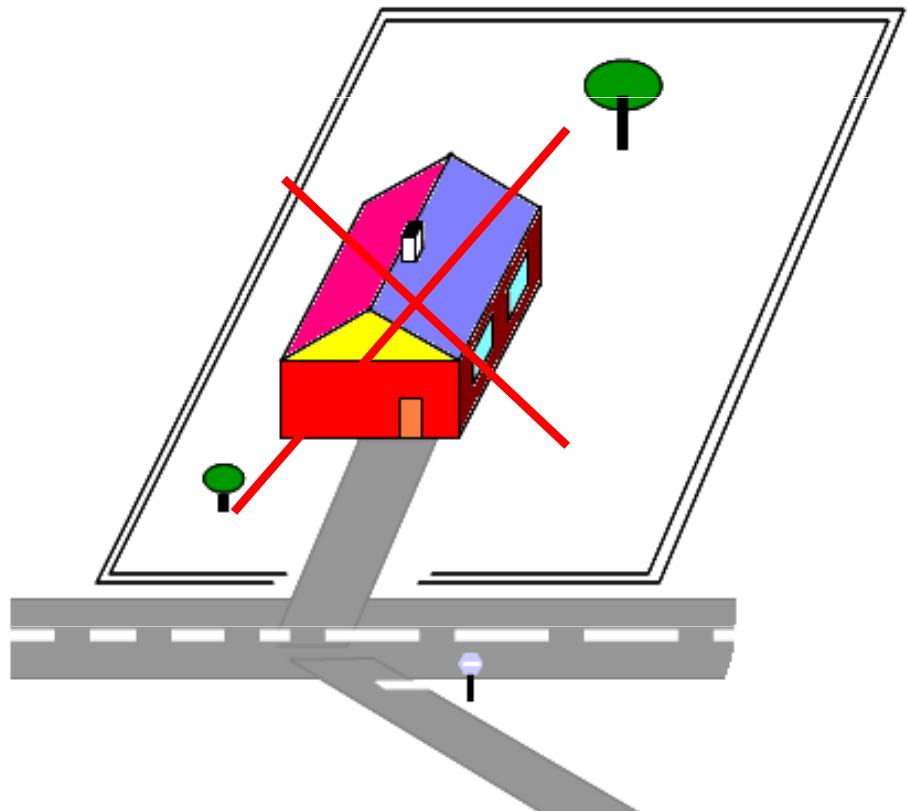
- **Articles (Code de l'Urbanisme)**

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



Modélisation du règlement

• Articles (Code de l'Urbanisme)

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

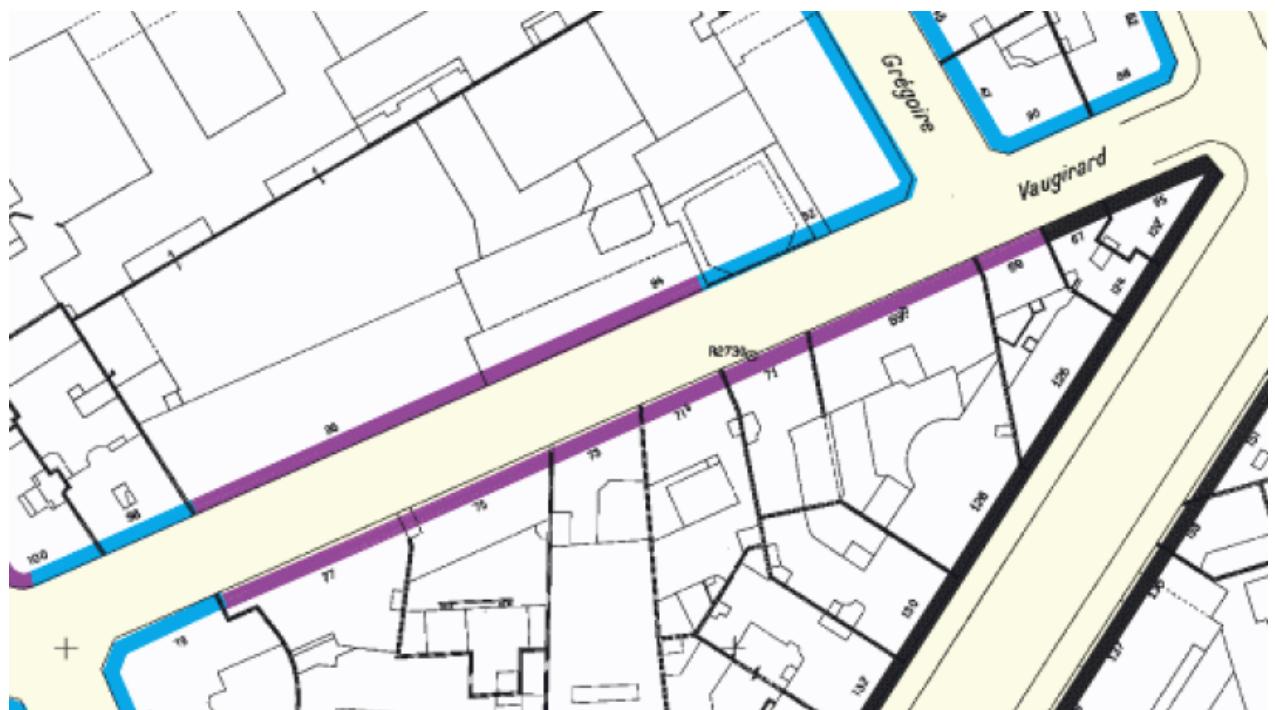
Article 11 : Aspect extérieur

• Prescriptions graphiques

Hauteur de verticale

indiquée par la couleur :

- H = 5 m : _____ Rose
- H = 7 m : _____ Kaki
- H = 10 m : _____ Vert
- H = 12 m : _____ Orange
- H = 15 m : _____ Violet
- H = 18 m : _____ Bleu clair
- H = 20 m : _____ Noir
- H = 23 m : _____ Gris
- H = 25 m : _____ Bleu marine
- Verticale de même hauteur que la façade existante : _____ Marron



Modélisation du règlement

- Contenu de l'article 10 : Hauteur maximale des bâtiments
 - Défini localement



- Nombre d'étages
- Hauteur faitage
- Hauteur maximale par rapport au plus haut point du terrain
- Hauteur par rapport à la gouttière

- Difficulté : prise en compte des spécificités locales

Modélisation du règlement

- Considérons une règle d'un PLU :

« La hauteur des façades mesurée à l'égout du toit par rapport au terrain doit être inférieure à 12 m. »
- Difficulté : règles au format textuel

Modélisation du règlement

- Considérons une règle d'un PLU :

« La hauteur des **façades** mesurée à l'**égout du toit**
par rapport au **terrain** doit être inférieure à 12 m. »

En rouge, les **objets géographiques**

Modélisation du règlement

- Considérons une règle d'un PLU :

« La **hauteur des façades** mesurée à l'**égout du toit** par rapport au **terrain** doit être inférieure à 12 m. »

En rouge, les **objets géographiques**, en bleu, les **propriétés**

Modélisation du règlement

- Considérons une règle d'un PLU :

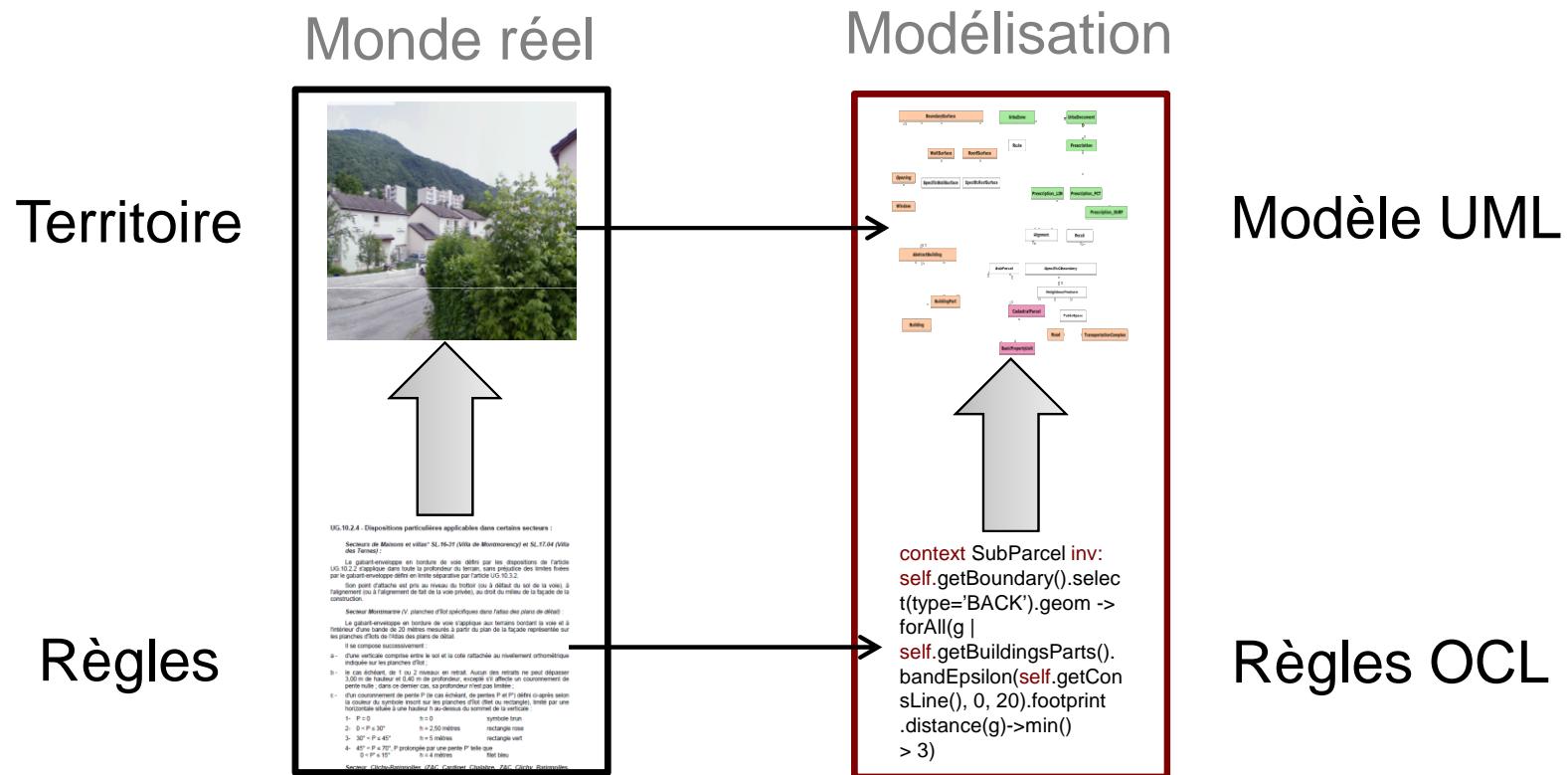
« La **hauteur des façades** mesurée à l'**égout du toit**
par rapport au **terrain** doit être inférieure à 12 m. »

En rouge, les **objets géographiques**, en bleu, les
propriétés et en vert les **relations**

Modélisation du règlement

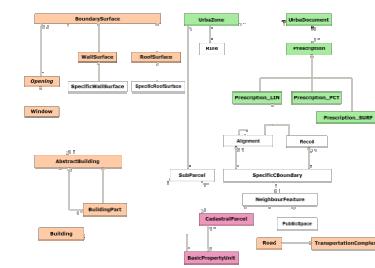
- Double objectif :
 - Modéliser et organiser les concepts géographiques mentionnés dans les règlements ,
 - Pouvoir formaliser les règles exprimées par le texte.

• Proposition



Modélisation du règlement

UML

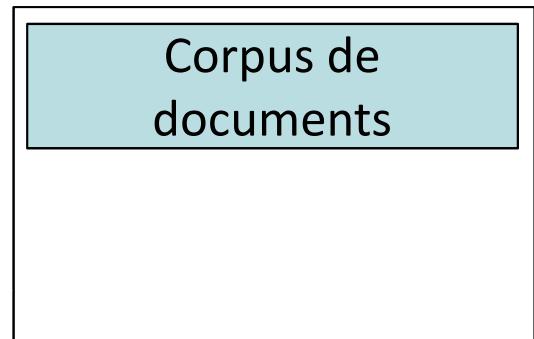


Modélisation du règlement

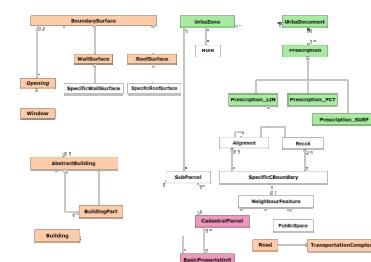
• Corpus de documents

- Projet TerraMagna, ePLU
- « Écriture des PLU »

Base de connaissances



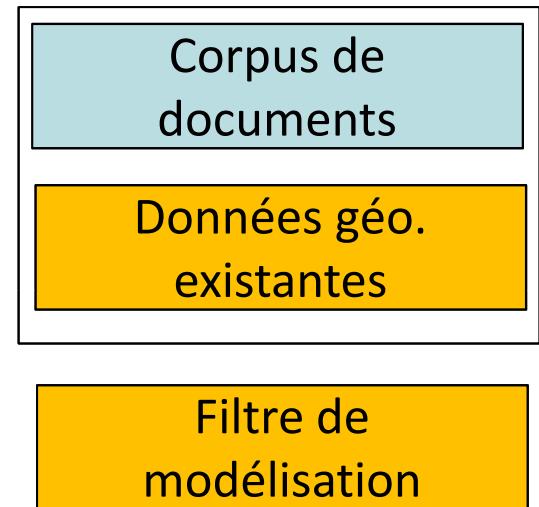
UML



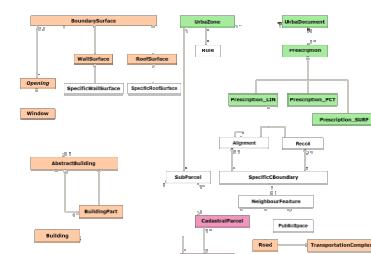
Modélisation du règlement

- Corpus de documents
- Périmètre de modélisation
 - Règles en lien avec le bâti
 - Règles calculables et formalisées

Base de connaissances



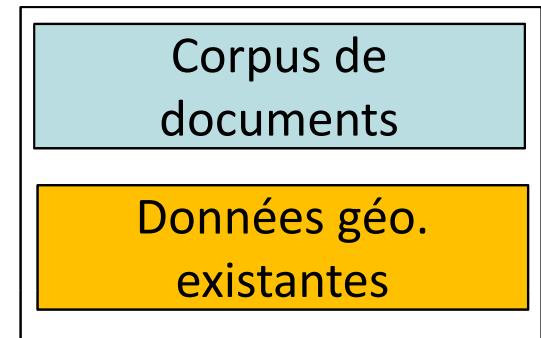
UML



Modélisation du règlement

- Corpus de documents
- Périmètre de modélisation
- Appui sur des modèles normalisés

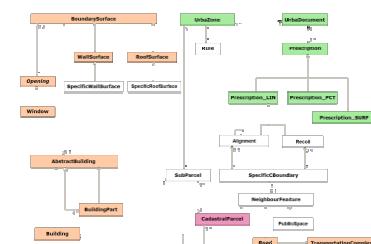
Base de connaissances



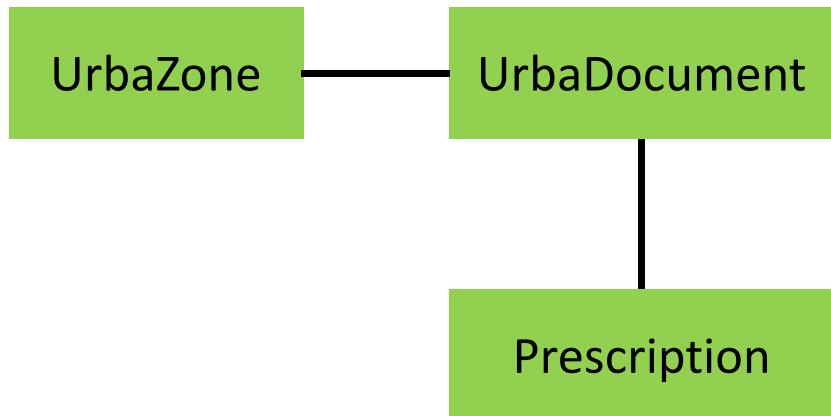
Filtre de modélisation



UML



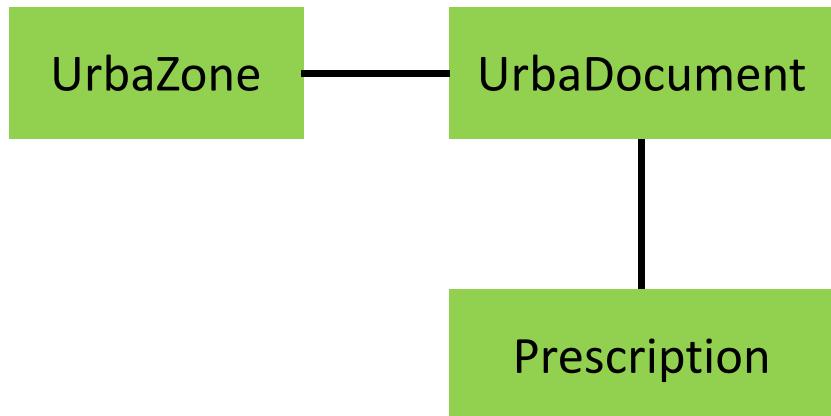
Modélisation du règlement



Classes provenant de :

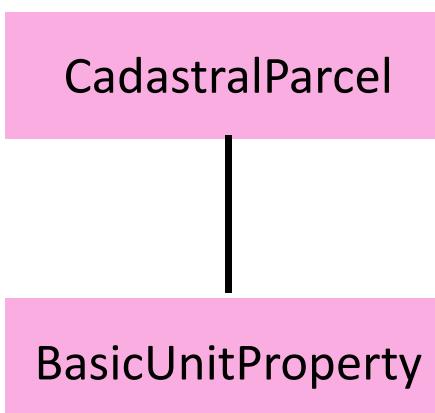
- COVADIS – prescription graphiques

Modélisation du règlement

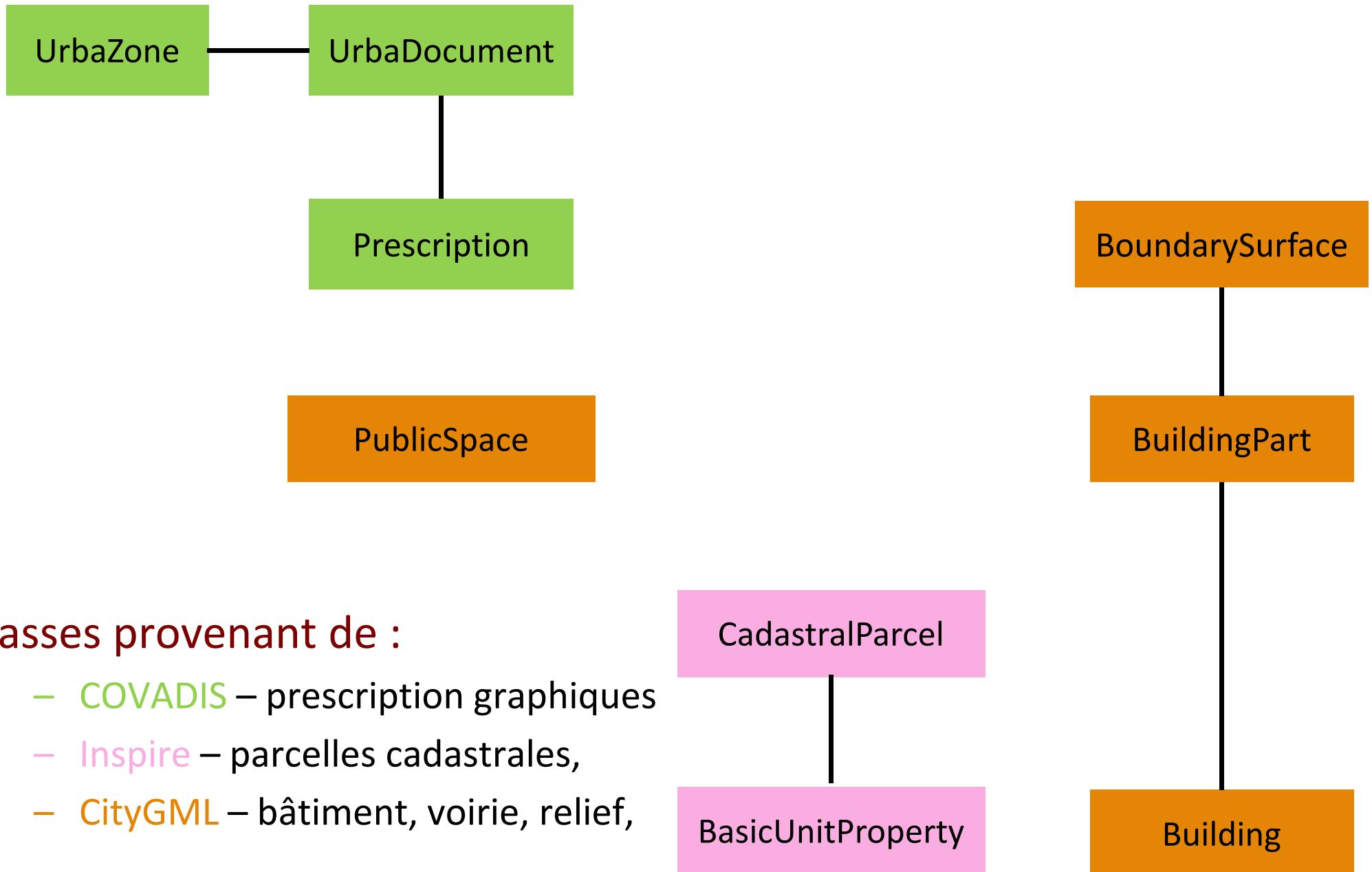


Classes provenant de :

- COVADIS – prescription graphiques
- Inspire – parcelles cadastrales,



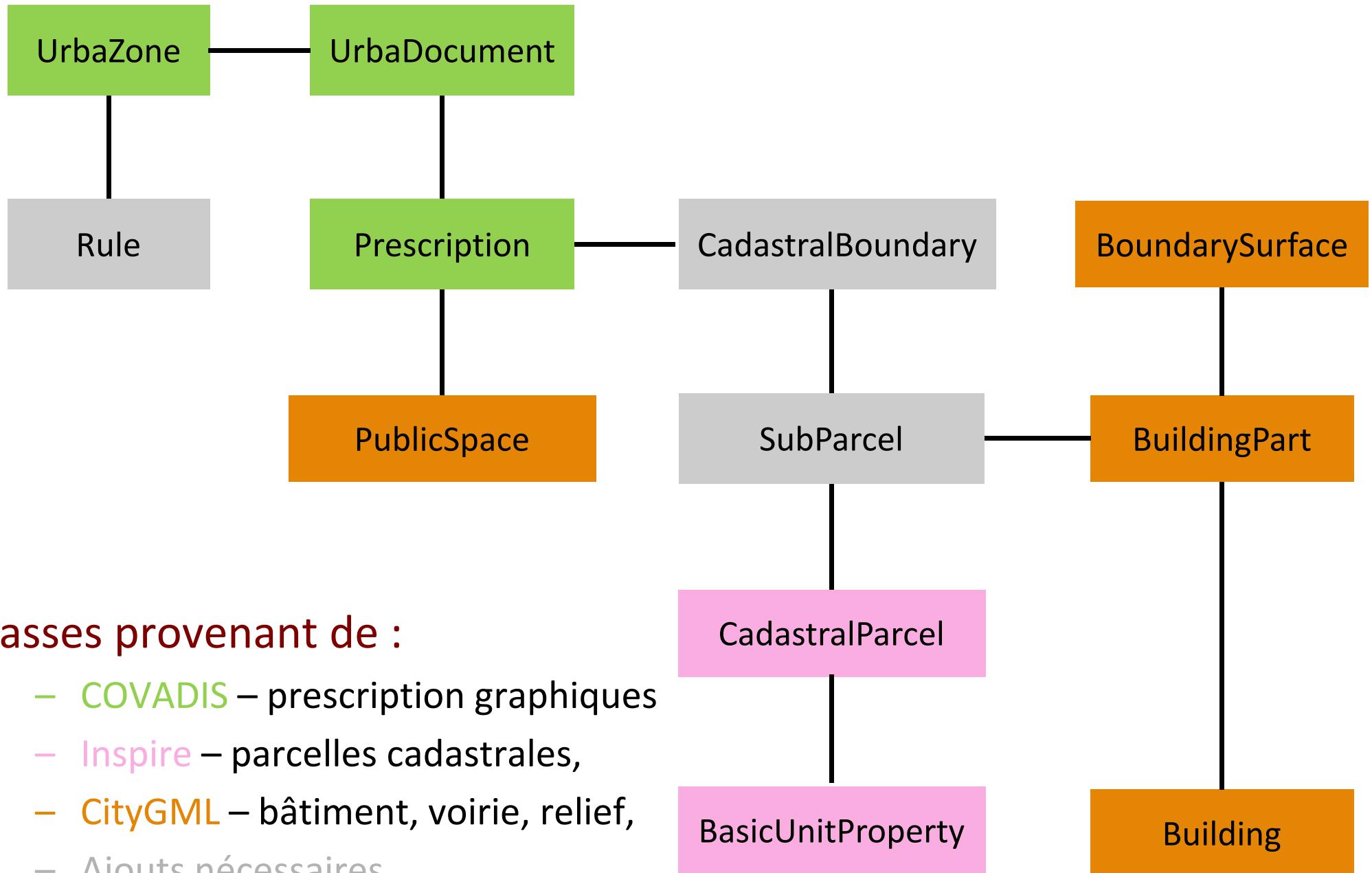
Modélisation du règlement



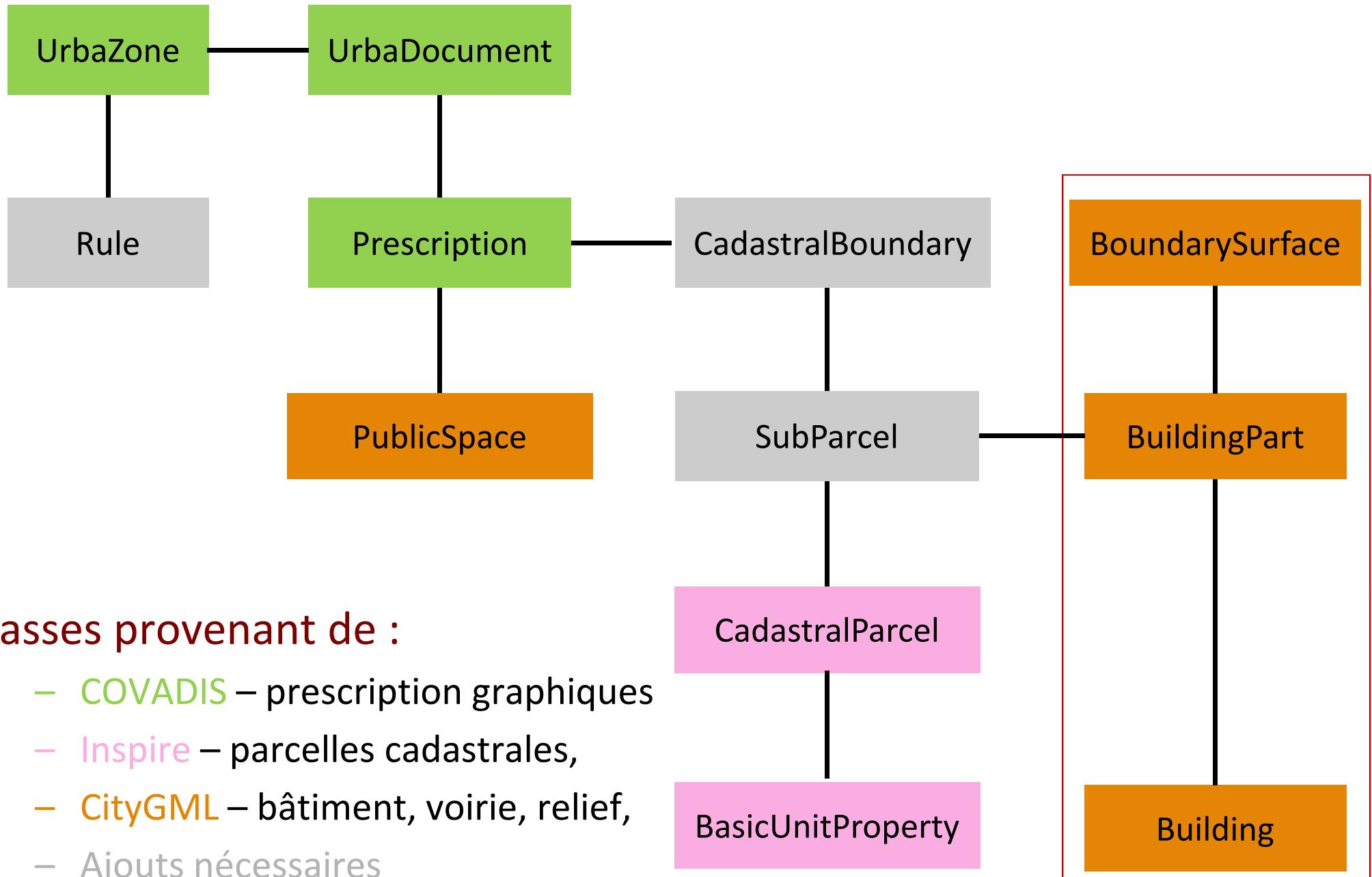
Classes provenant de :

- **COVADIS** – prescription graphiques
- **Inspire** – parcelles cadastrales,
- **CityGML** – bâtiment, voirie, relief,

Modélisation du règlement

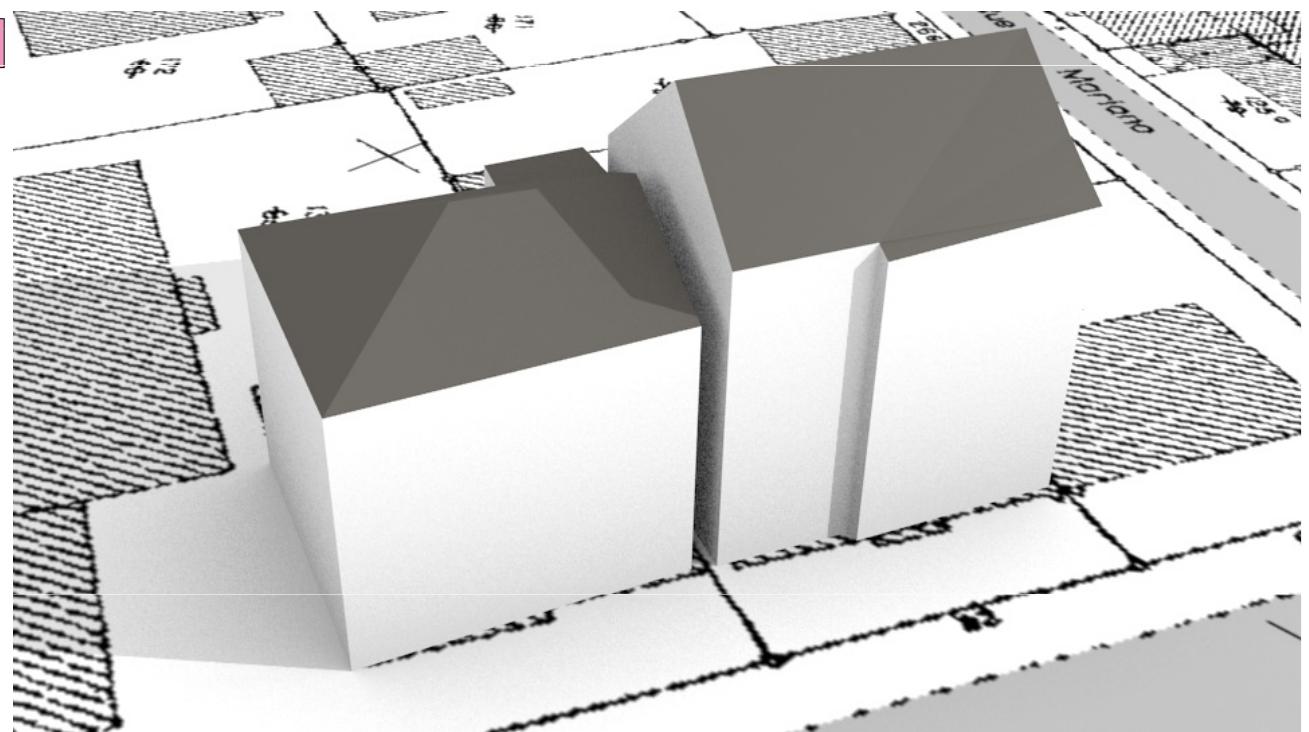
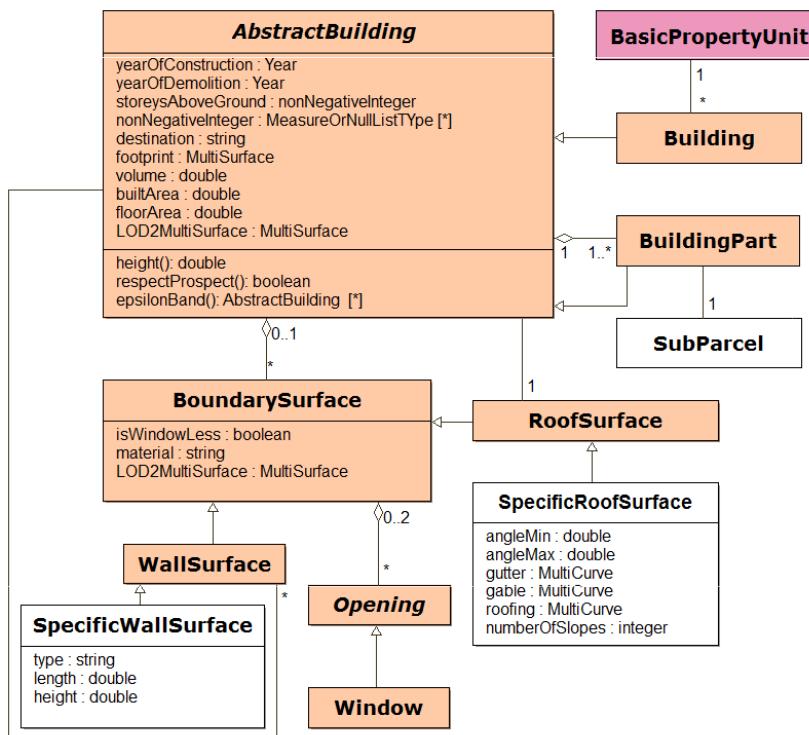


Modélisation du règlement



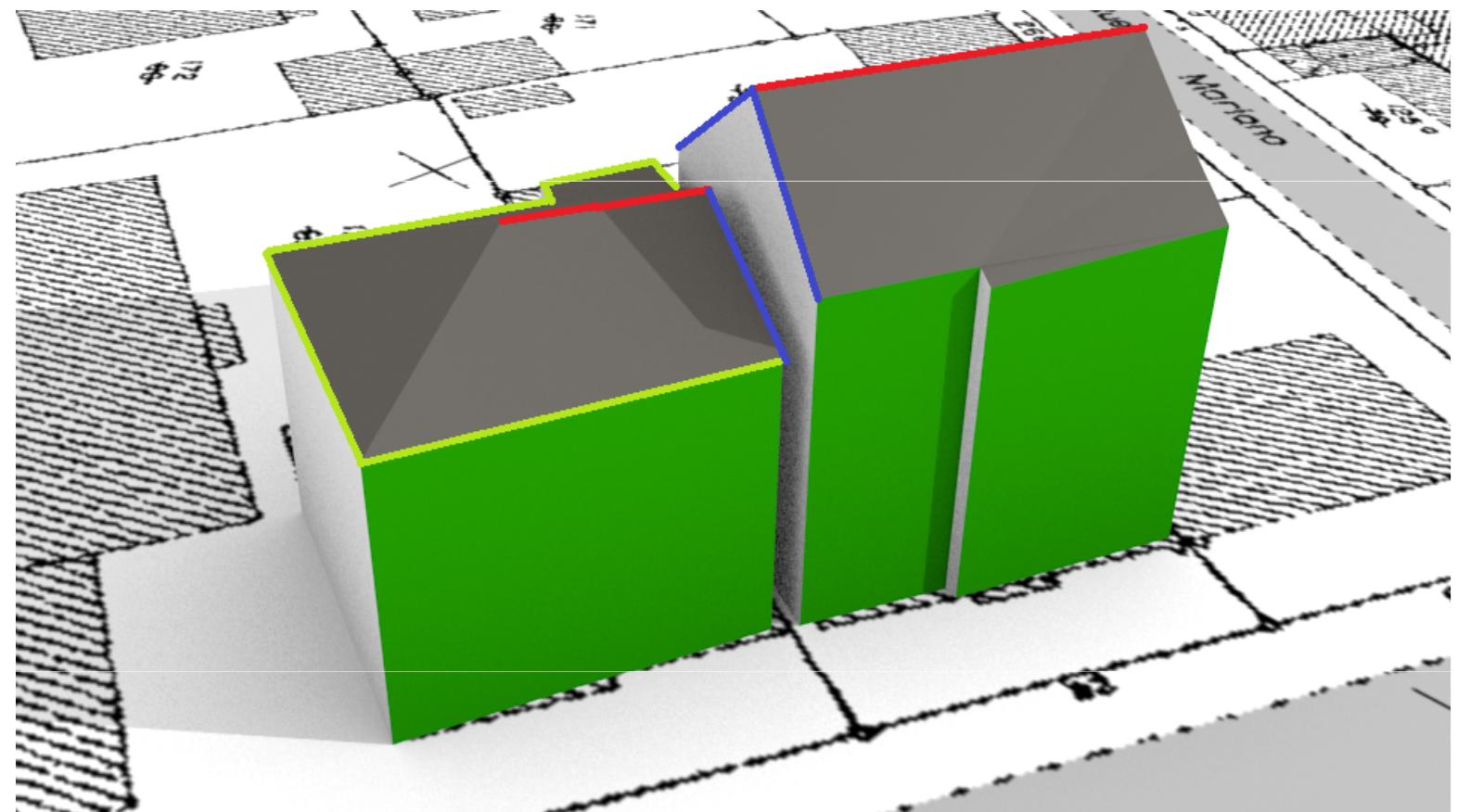
Modélisation du règlement

- Modélisation des bâtiments



Modélisation du règlement

- Toit
 - Faîte
 - Gouttière
 - Pignon
- Façade
 - Donnant sur rue
 - Latérale



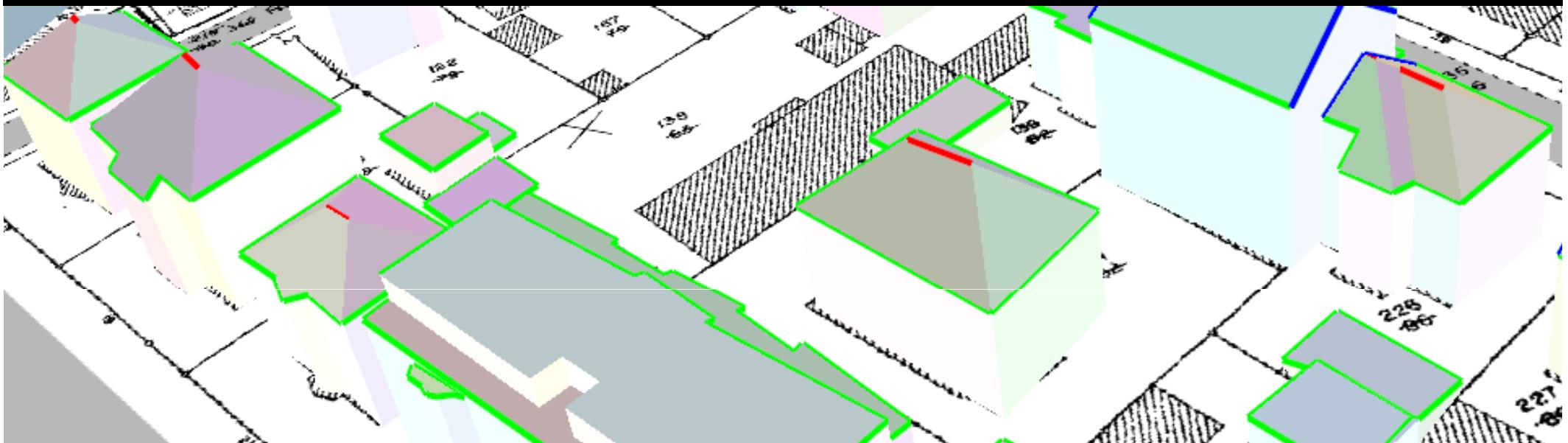
Modélisation du règlement

- Expression des règles à partir des informations du modèle

«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. »

context CadastralParcel inv:

```
self.getBoundary().select(type=='LAT').geom -> forAll(g |  
self.getBuildings().footprint.distance(g) > 3)
```



1 - Modélisation du règlement

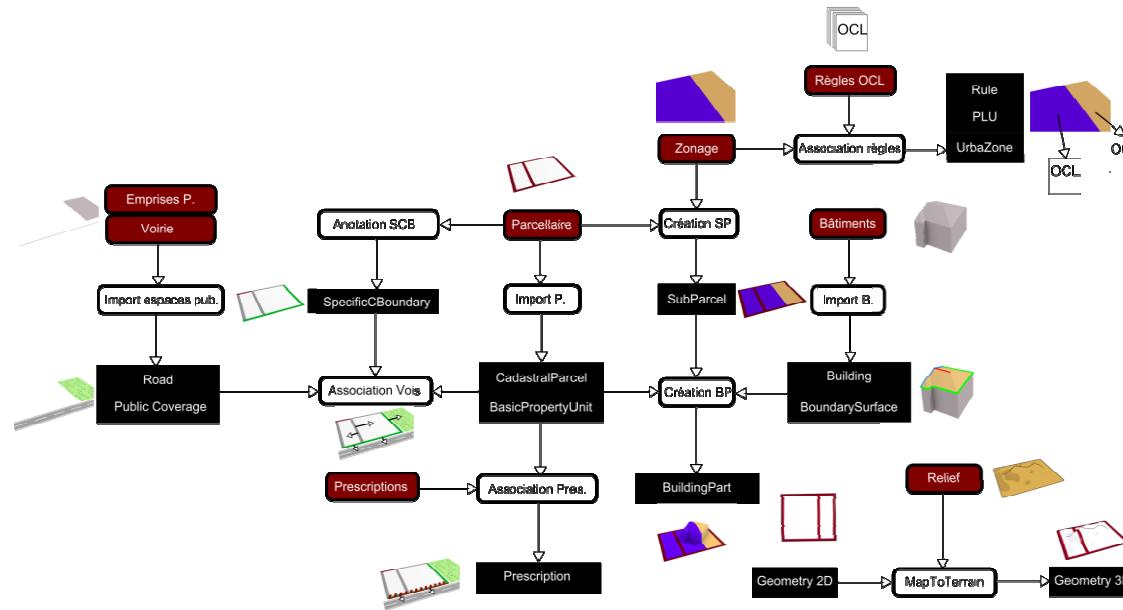
2 - INTÉGRATION ET ENRICHISSEMENT DES DONNÉES

3 - Génération de bâtiments

4 - Expérimentations

Intégration et enrichissement des données

- Proposition d'un processus d'intégration et d'enrichissement des données



- Présentation de deux processus
 - Annotation des limites séparatives
 - Enrichissement de données de bâtiments

Intégration et enrichissement des données

- Définition des types de limite séparative

- Nomenclature nationale
- Définition locale

Types de limite
 Fond
 Latéral
 Voie

Intégration et enrichissement des données

- Définition des types de limite séparative

Types de limite

- Fond
- Latéral
- Voie

- Point de vue global vs point de vue local



[PLU Saint-Malo]



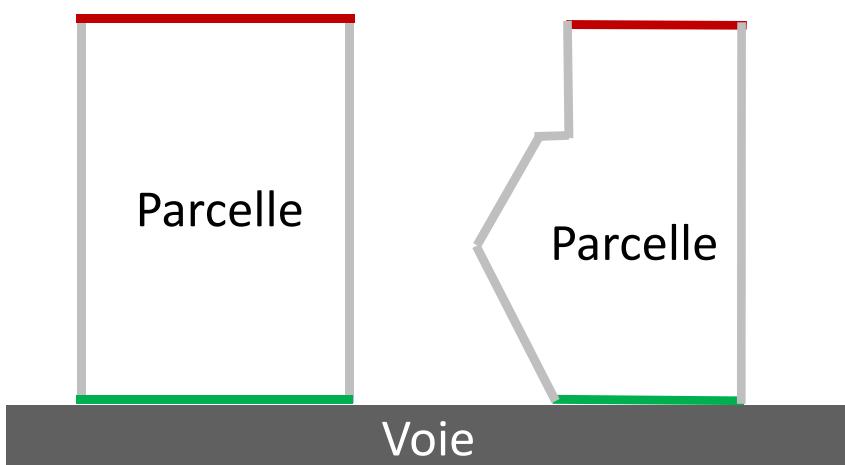
[PLU Épinay-sur-Seine]

Intégration et enrichissement des données

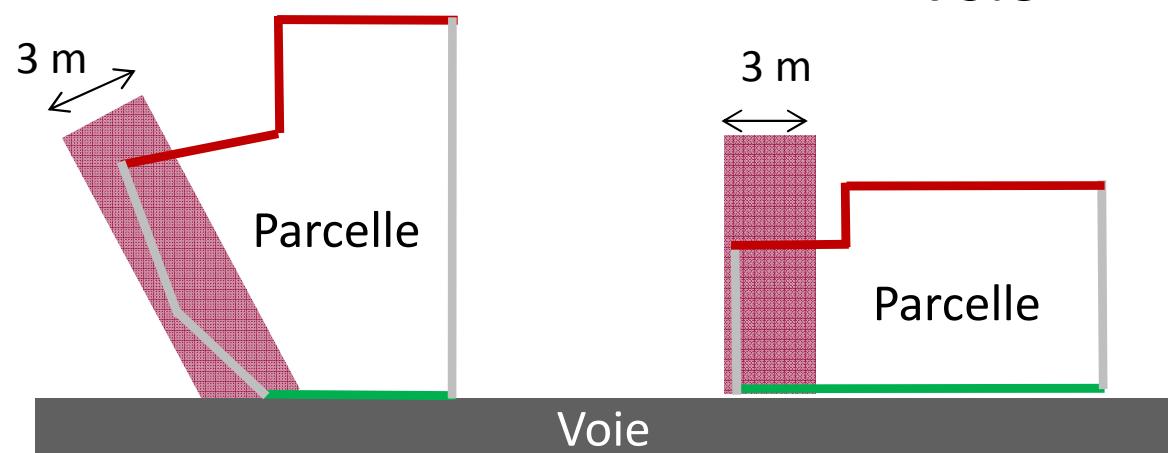
- Définition des types de limite séparative
- Point de vue global vs point de vue local
- Règles implicites vs règles explicites

Types de limite

—	Fond
—	Latéral
—	Voie



[PLU Chambourcy]



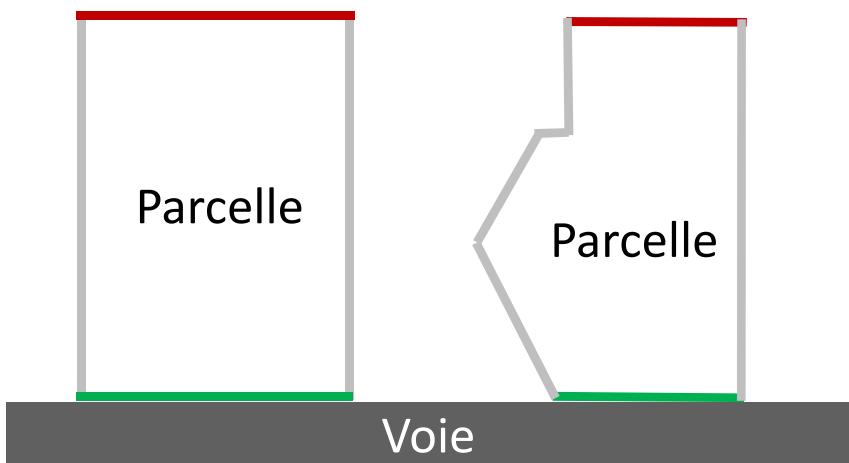
[PLU Épinay-sur-Seine]

Intégration et enrichissement des données

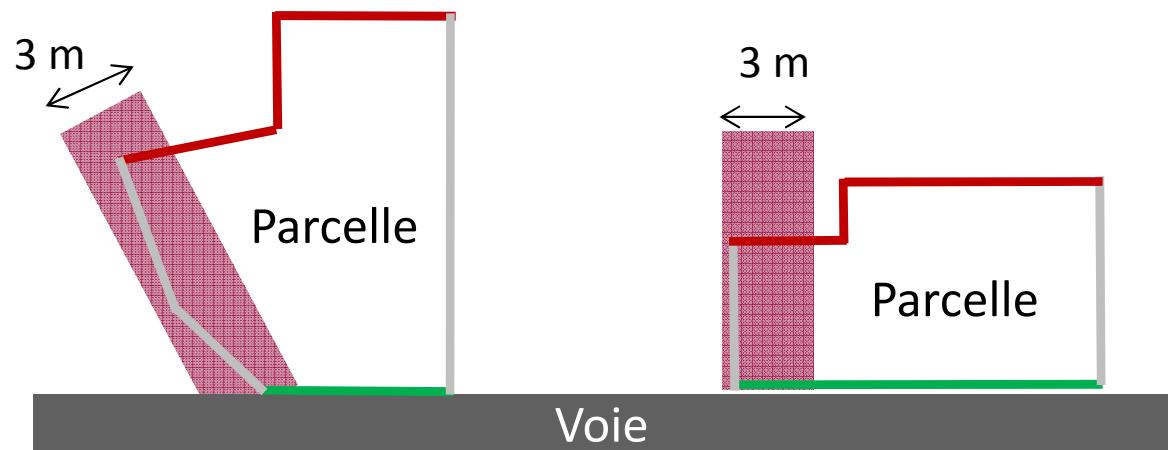
- Définition des types de limite séparative
- Point de vue global vs point de vue local
- Règles implicites vs règles explicites

Types de limite

- Fond
- Latéral
- Voie



[PLU Chambourcy]

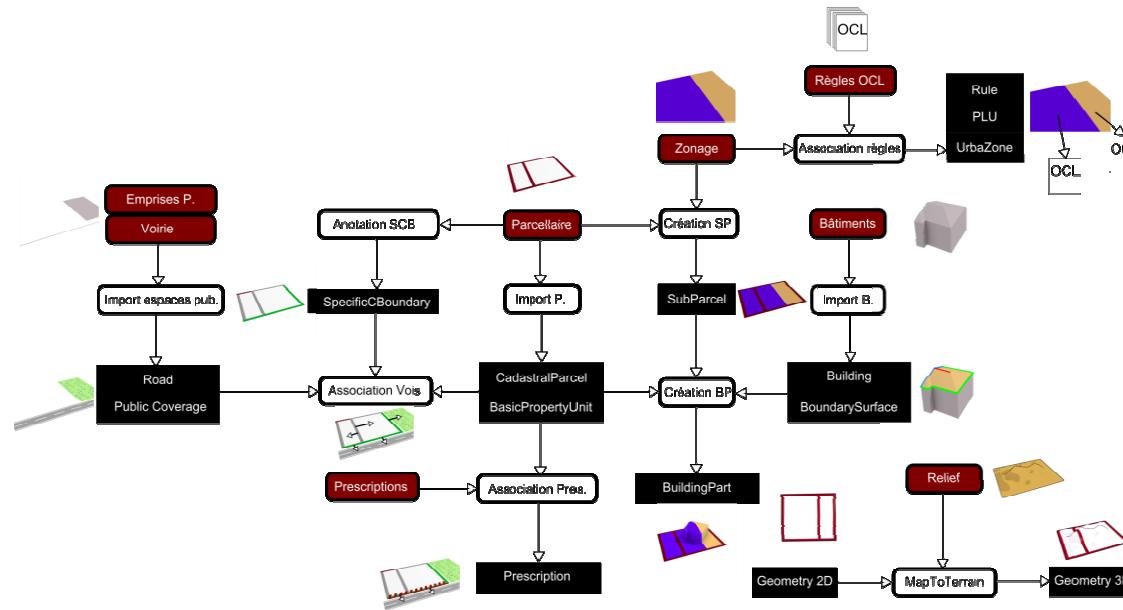


[PLU Épinay-sur-Seine]

- Impossibilité de proposer un processus automatique unique

Intégration et enrichissement des données

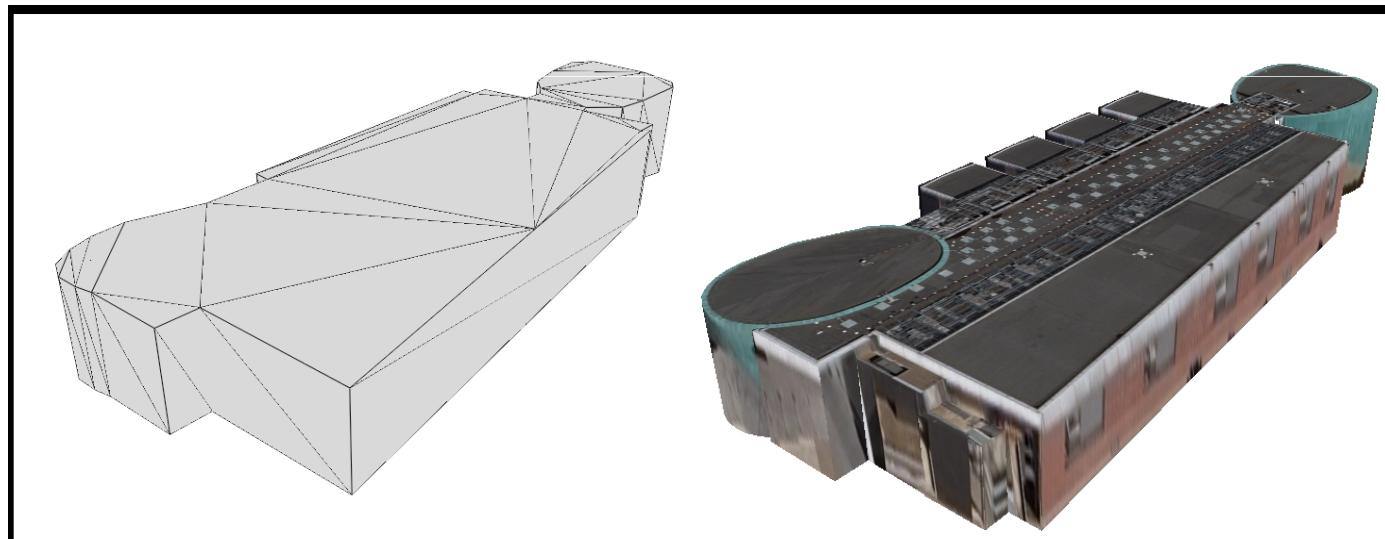
- Proposition d'un processus d'intégration et d'enrichissement des données



- Présentation de deux processus
 - Annotation des limites séparatives
 - Enrichissement de données de bâtiments

Intégration et enrichissement des données

- Disponibilité des données géographiques 3D



Niveau de détail CityGML

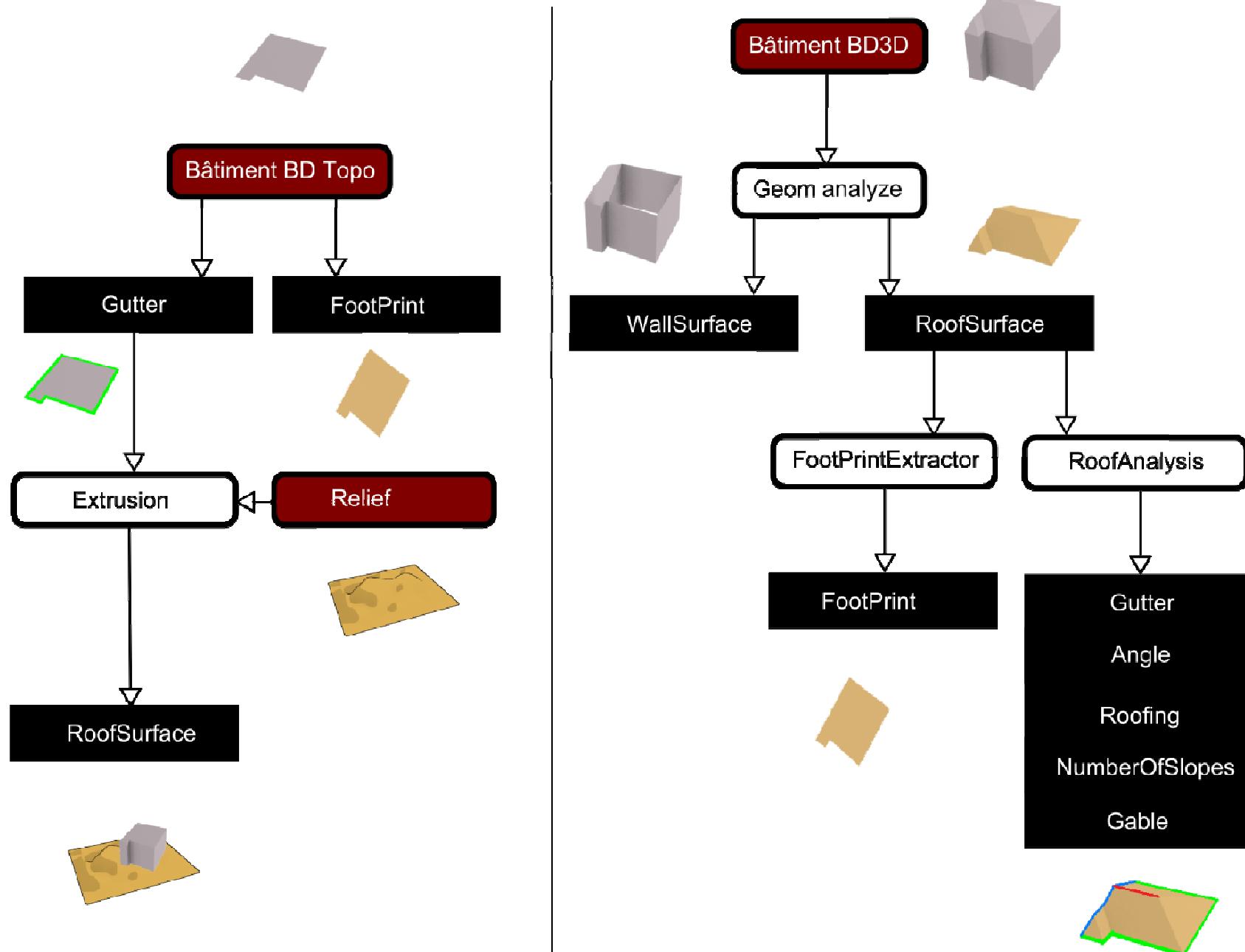
LOD 1

LOD2

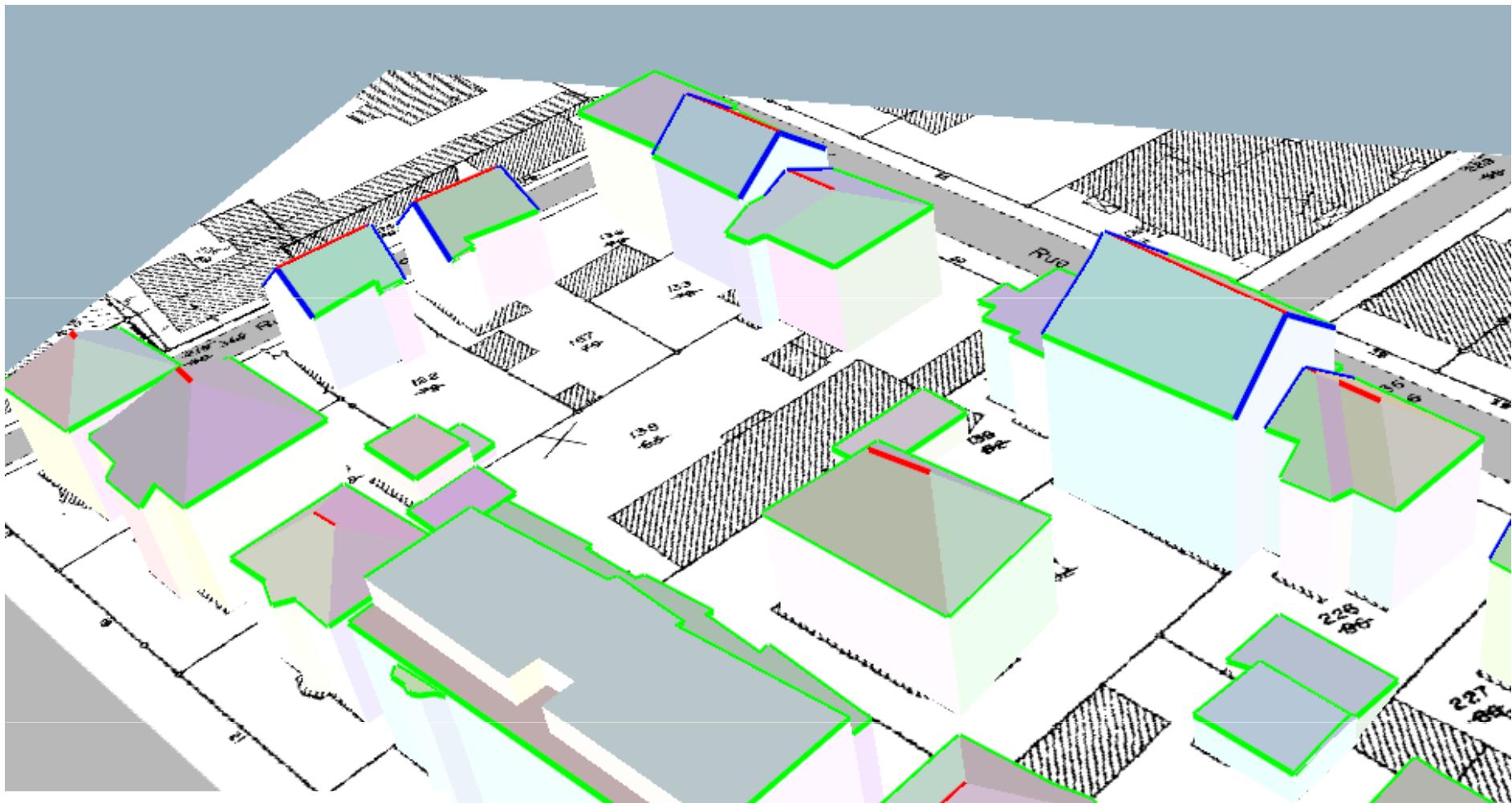
LOD3

Intégration et enrichissement des données

- Détection de toit et classification des arêtes du toit



Intégration et enrichissement des données

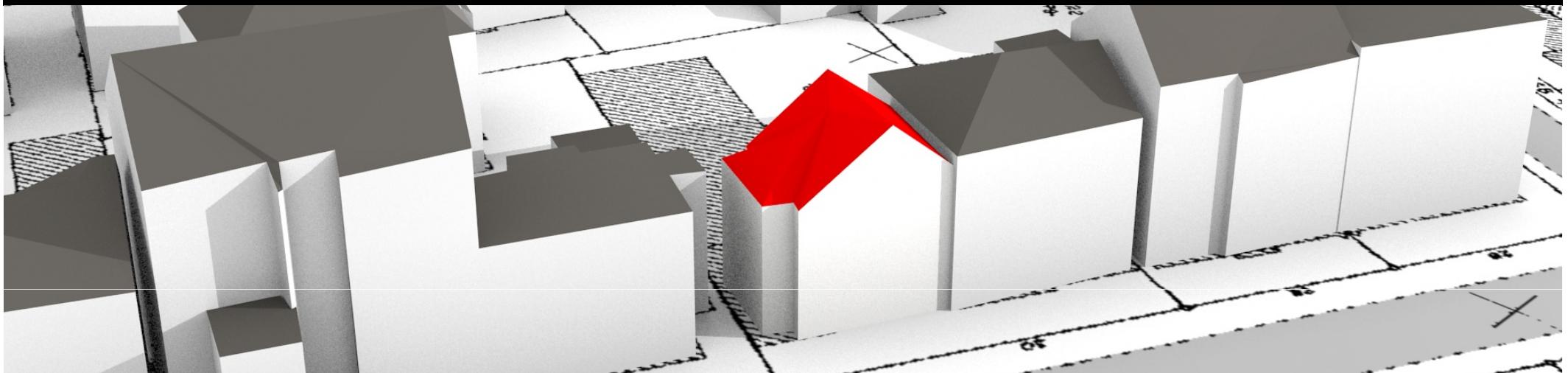


Types d'arête

— Faitage

— Pignon

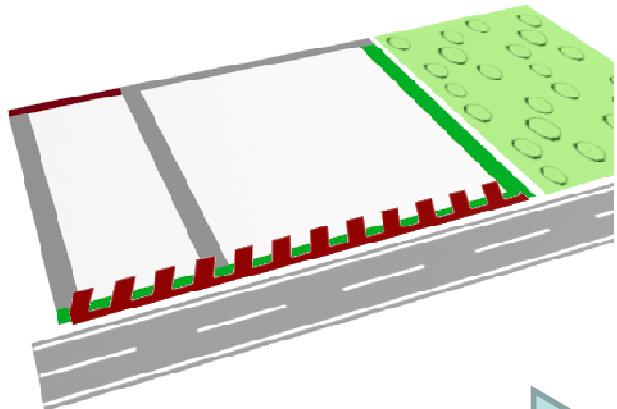
— Gouttière



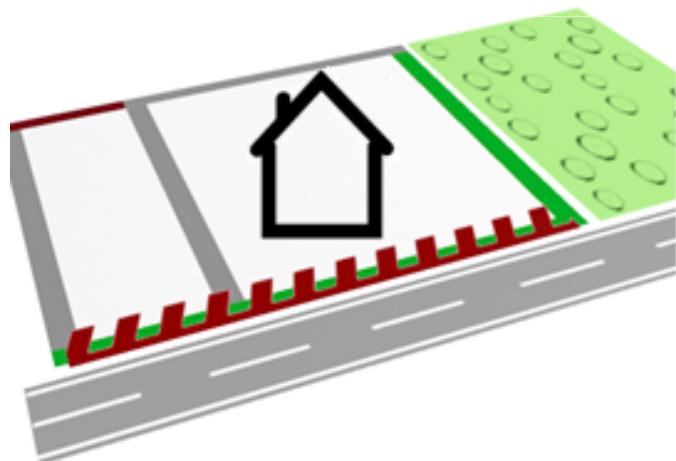
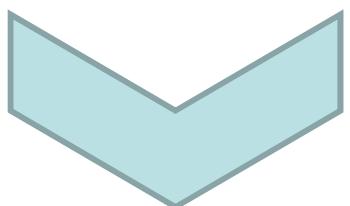
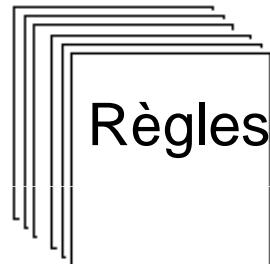
- 1 - Modélisation du règlement
- 2 - Intégration et enrichissement des données
- 3 - GÉNÉRATION DE BÂTIMENTS**
- 4 - Expérimentations

Génération de bâtiments

- Définition du problème

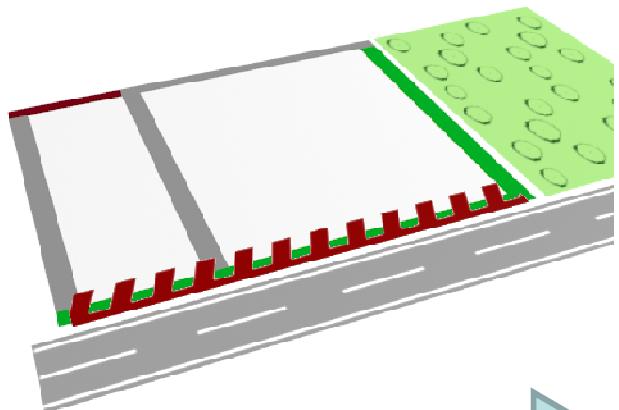


+

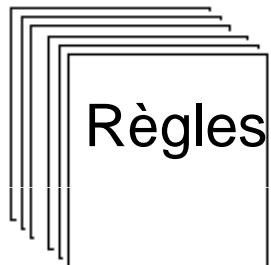


Génération de bâtiments

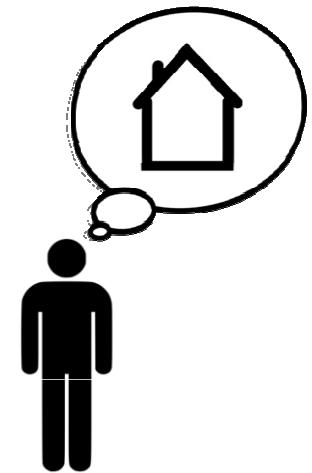
- Définition du problème



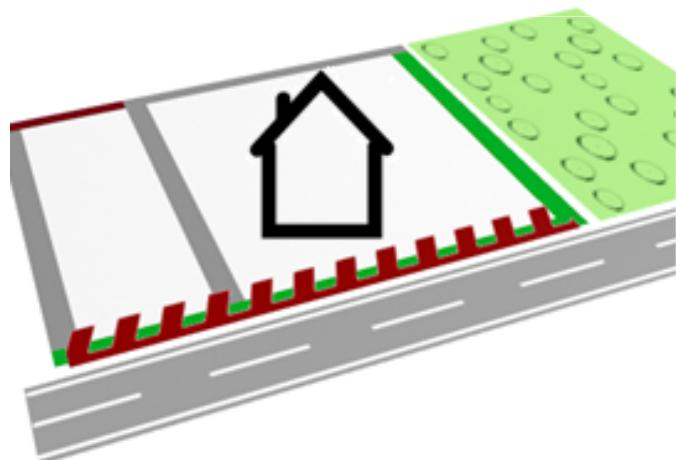
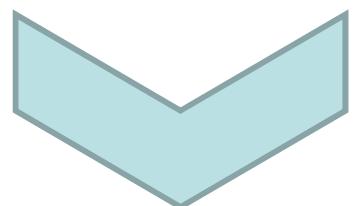
+



+

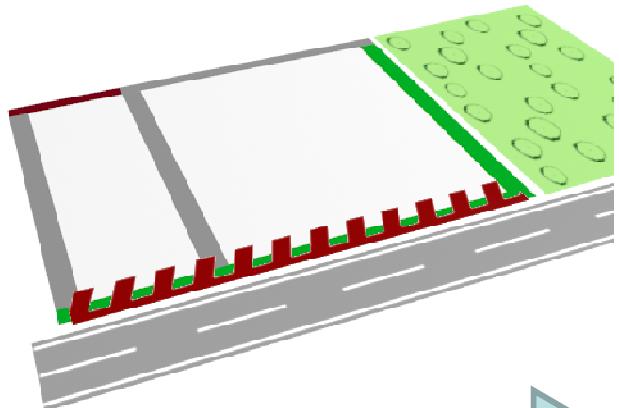


Fonction d'utilité

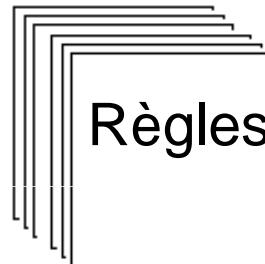


Génération de bâtiments

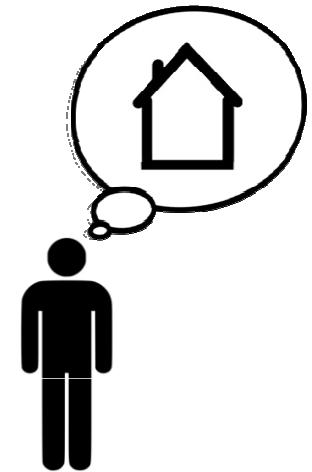
- Définition du problème



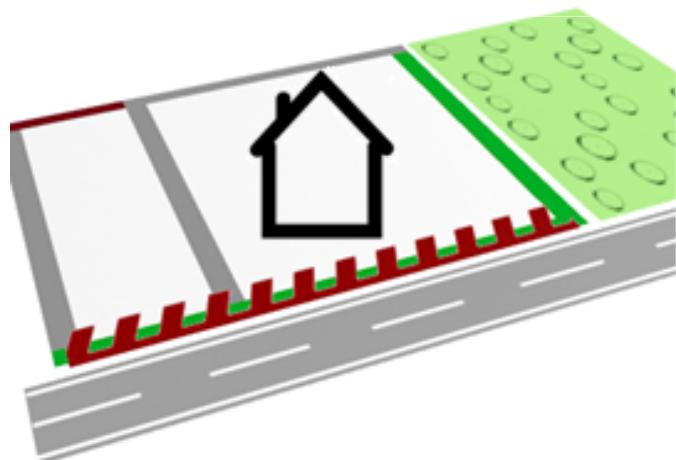
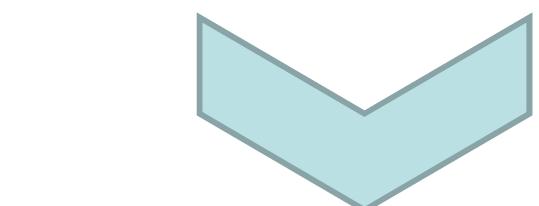
+



+



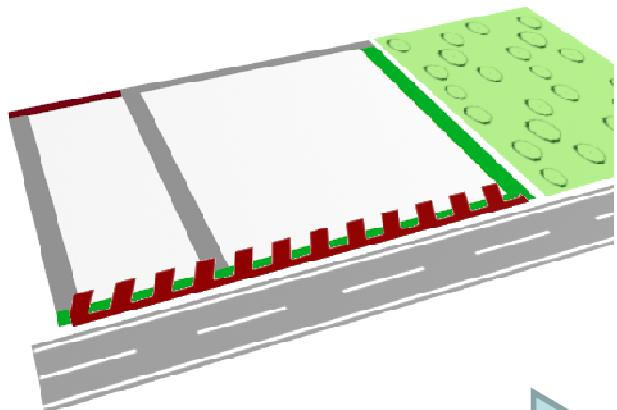
Fonction d'utilité



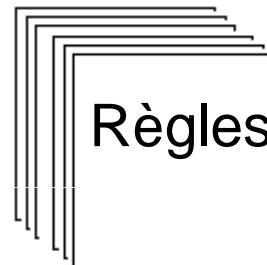
Problème
d'optimisation sous
contraintes

Génération de bâtiments

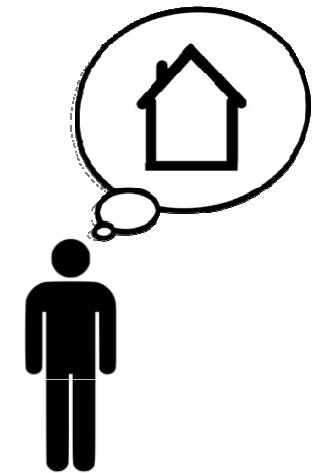
- Définition du problème



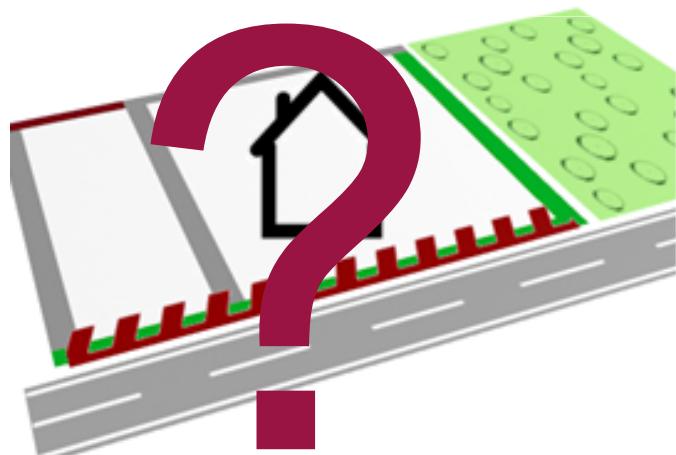
+



+



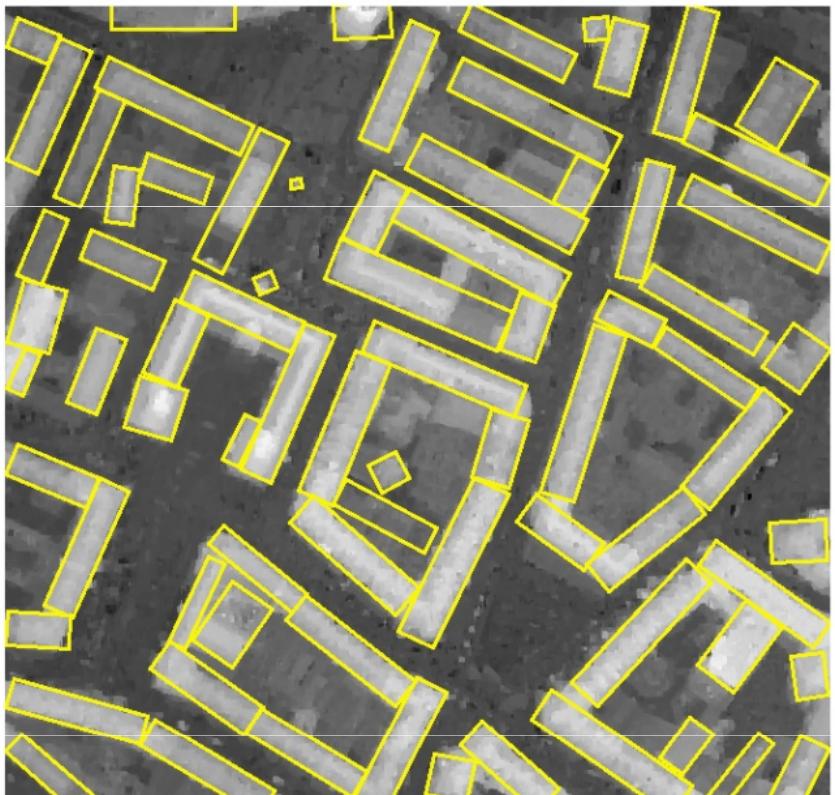
Fonction d'utilité



Problème
d'optimisation sous
contraintes

Génération de bâtiments

- Analogie avec les travaux de reconstruction de bâtiments



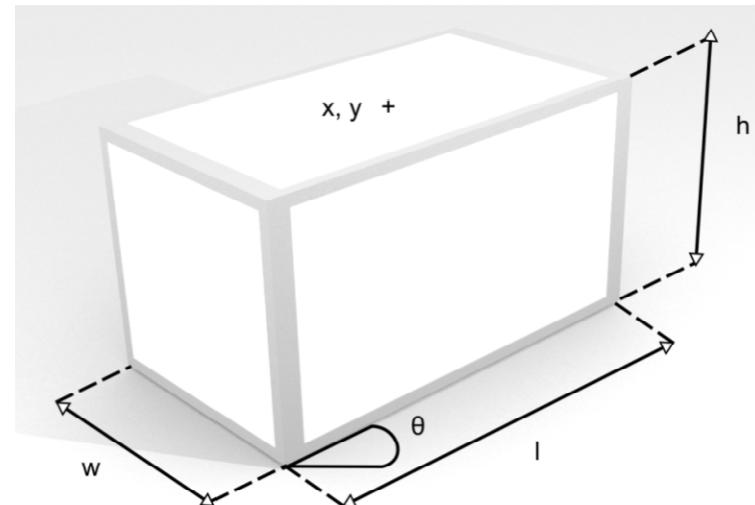
Représentation des bâtiments
par un ensemble d'objets
paramétriques

Brédif, M., Tournaire, O., 2012

- Technique d'optimisation : recuit simulé trans-dimensionnel

Génération de bâtiments

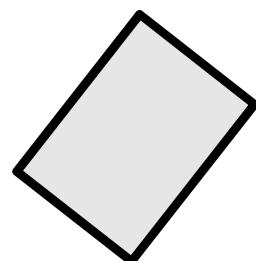
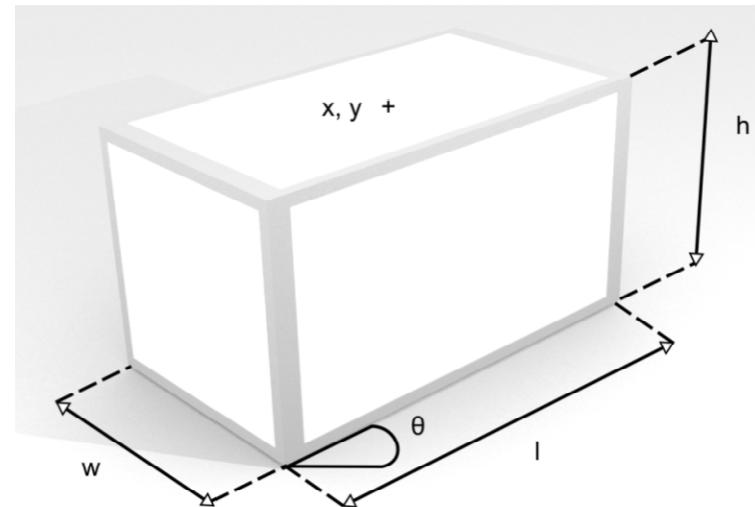
- Configuration bâtie
 - Ensemble homogène d'objets paramétriques



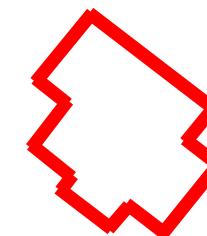
Génération de bâtiments

- Configuration bâtie
 - Ensemble homogène d'objets paramétriques

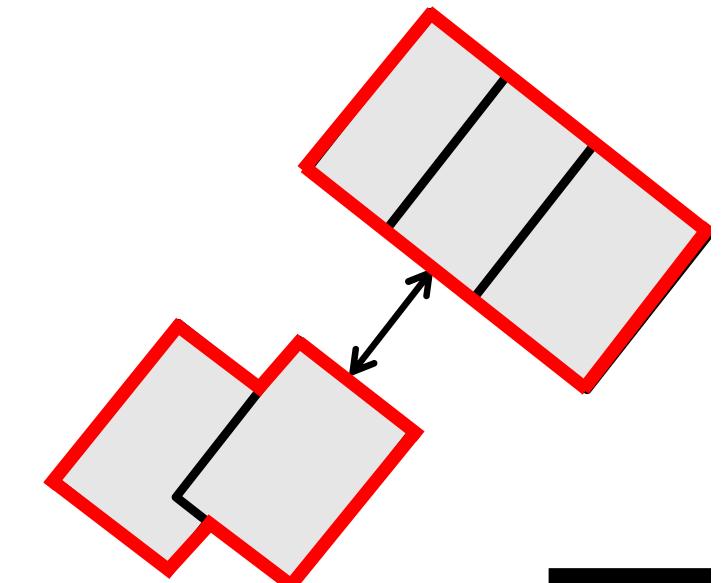
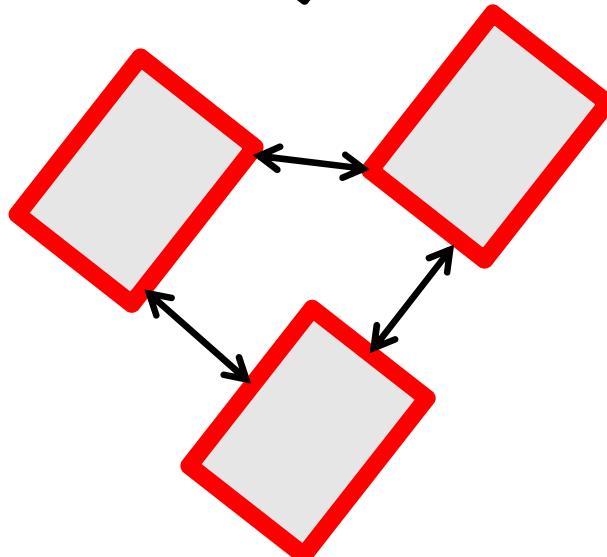
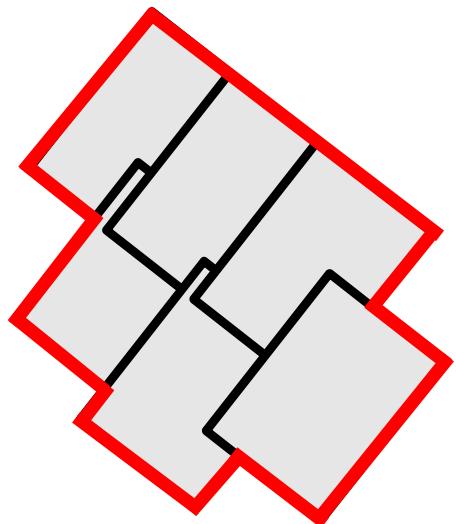
- Plusieurs options de modélisation



1 objet



1 bâtiment



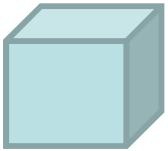
Génération de bâtiments

Classe
d'objets

Noyau de
propositions

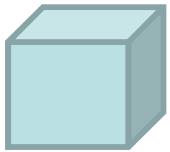
Fonction
d'optimisation

Règles
d'urbanisme
OCL



Génération de bâtiments

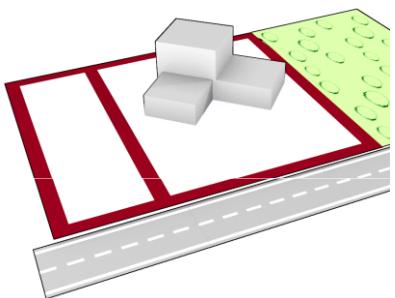
Classe
d'objets



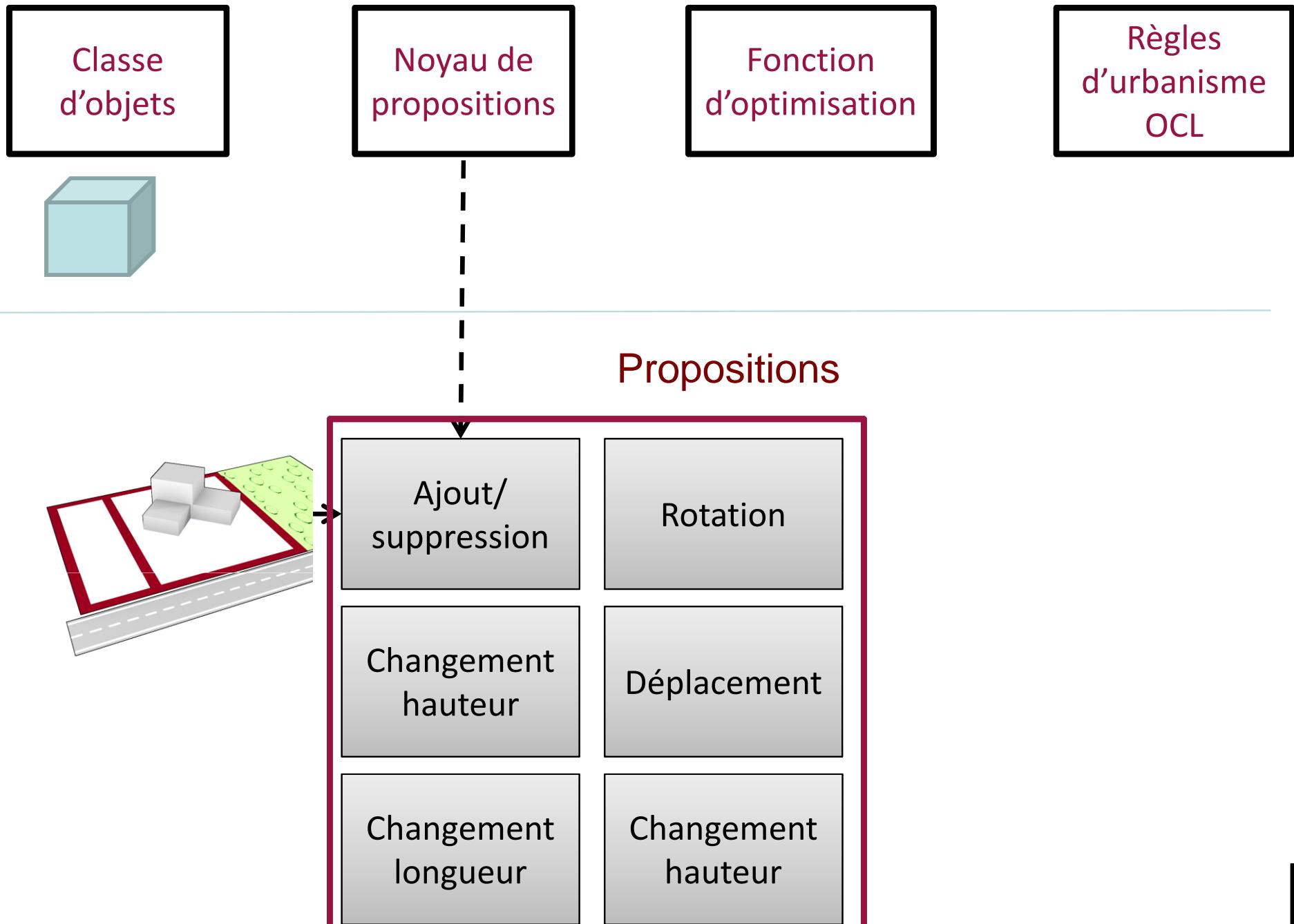
Noyau de
propositions

Fonction
d'optimisation

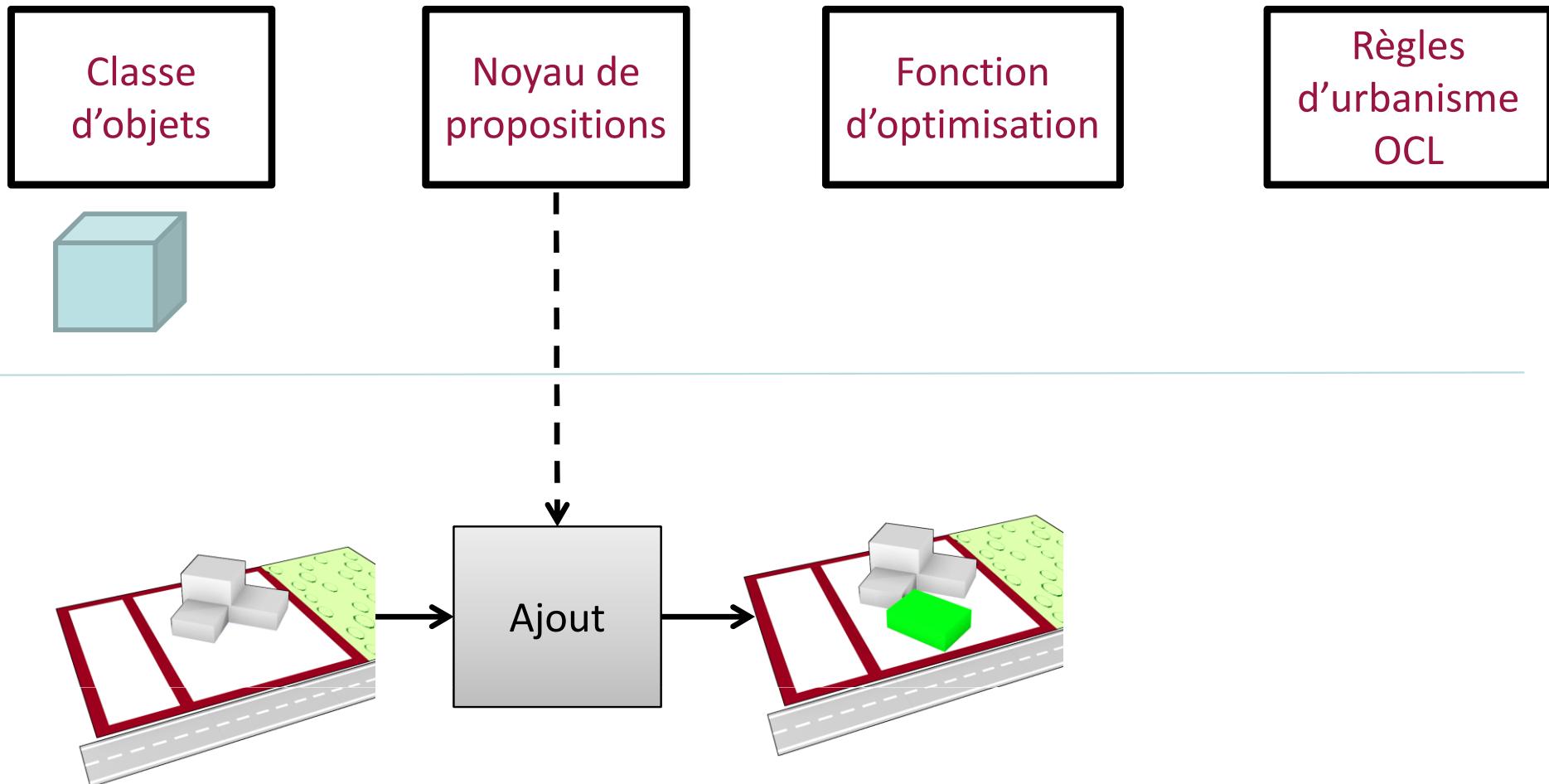
Règles
d'urbanisme
OCL



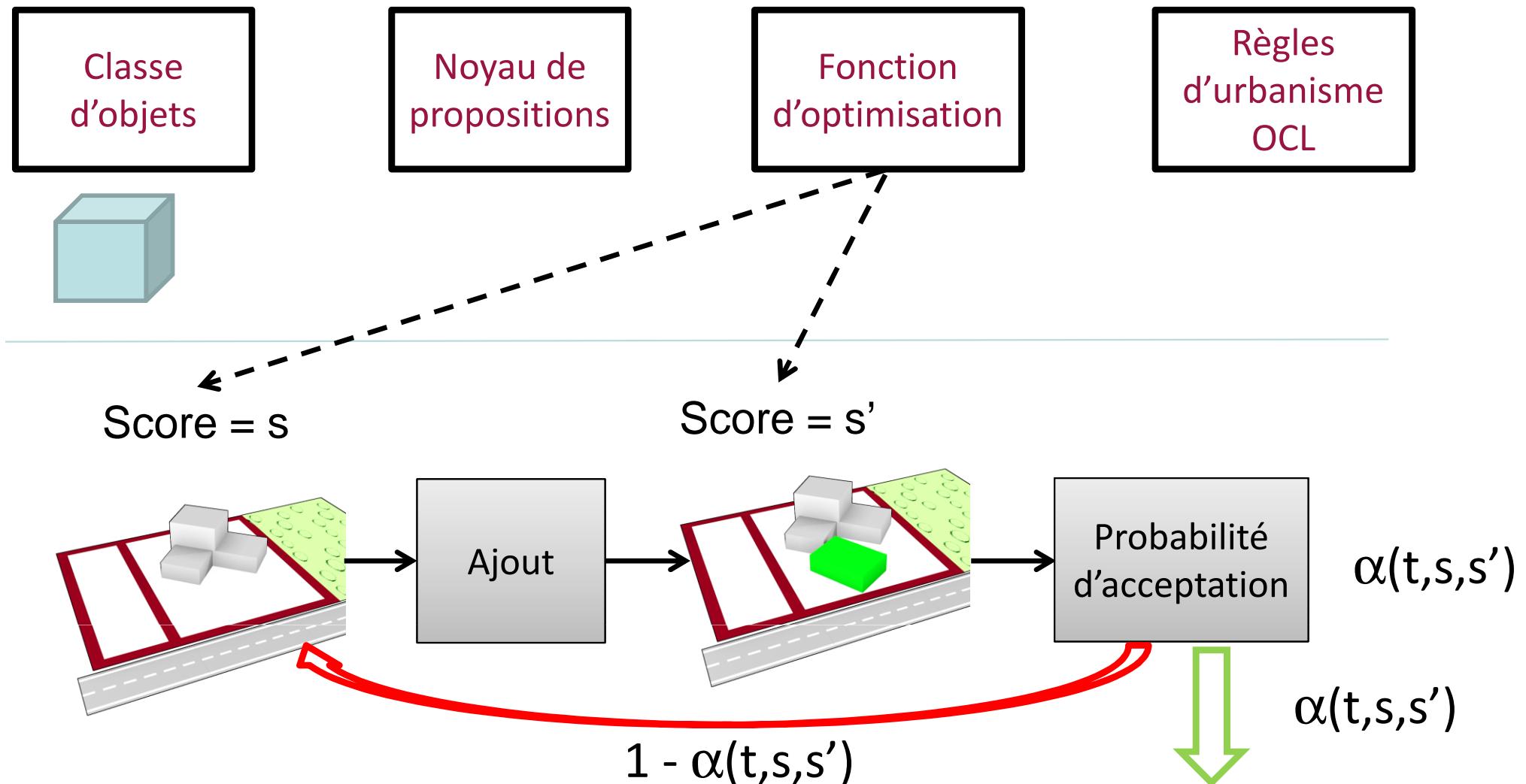
Génération de bâtiments



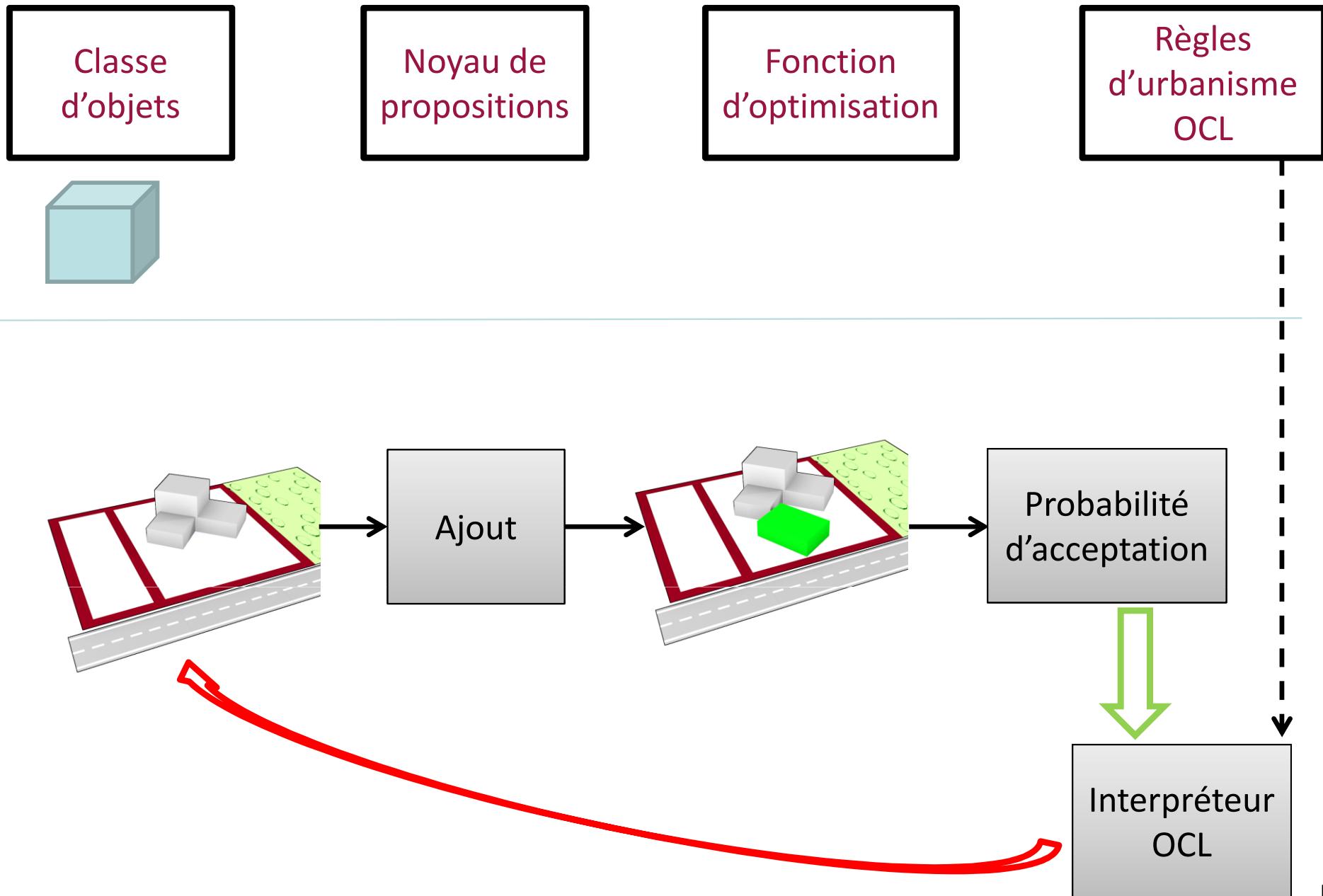
Génération de bâtiments



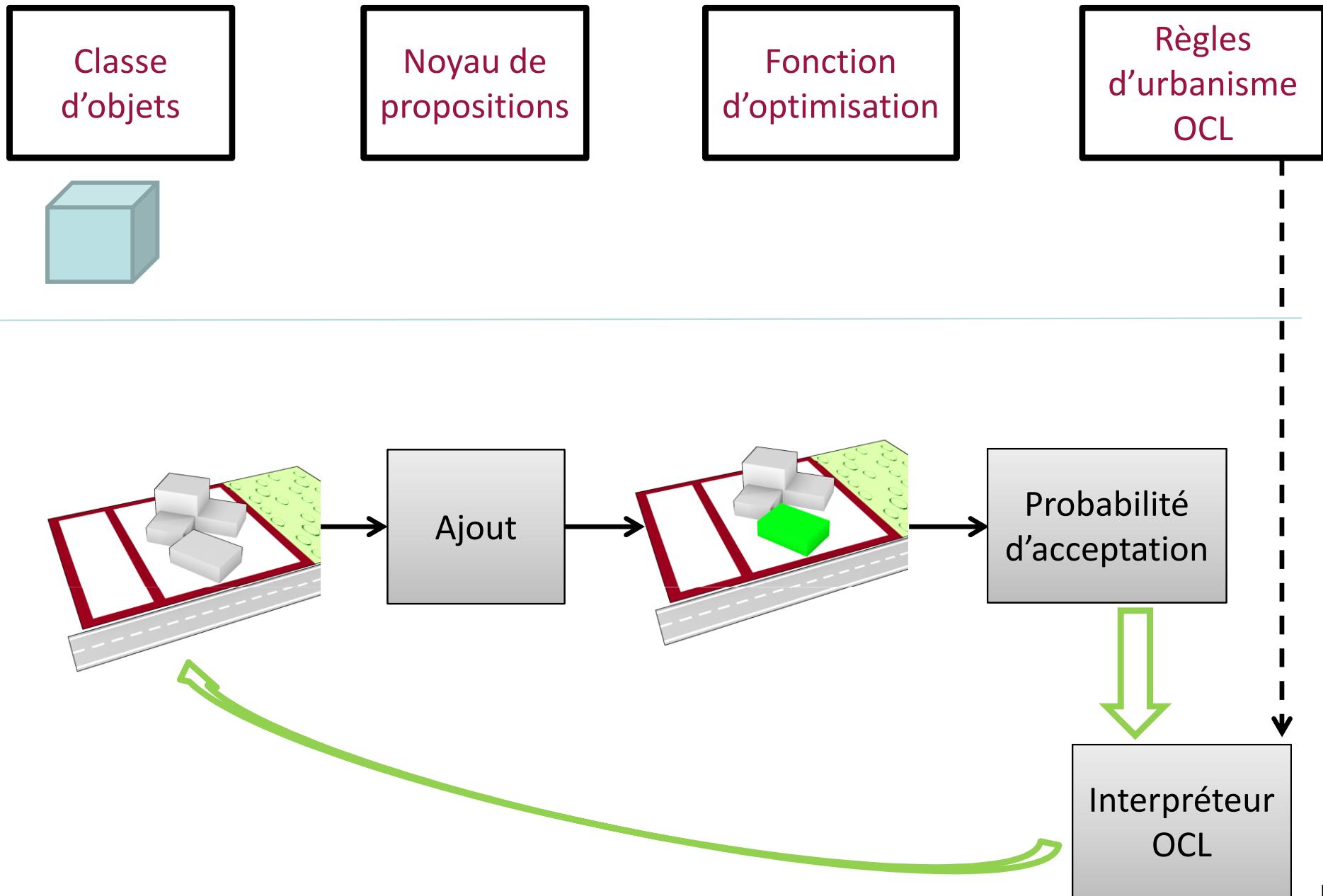
Génération de bâtiments



Génération de bâtiments



Génération de bâtiments





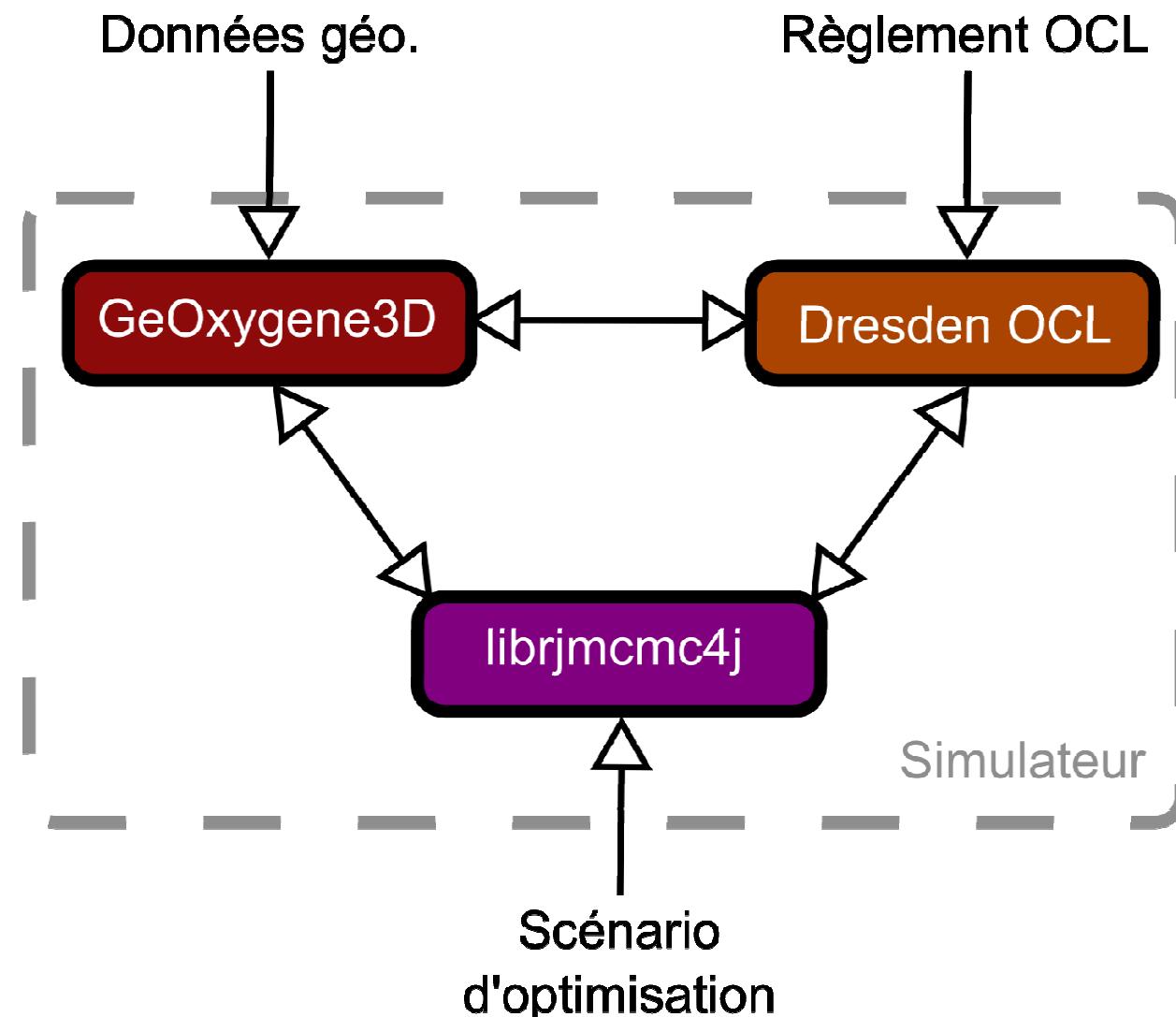
- 1 - Modélisation du règlement
- 2 - Intégration et enrichissement des données
- 3 - Génération de bâtiments

4 - EXPÉRIMENTATIONS

Expérimentations

Laboratoire COGIT
oxygene-project.sourceforge.net

Université de Dresden
www.dresden-ocl.org



Réimplémentation de librjcmc
laboratoire MATIS : librjcmc.ign.fr

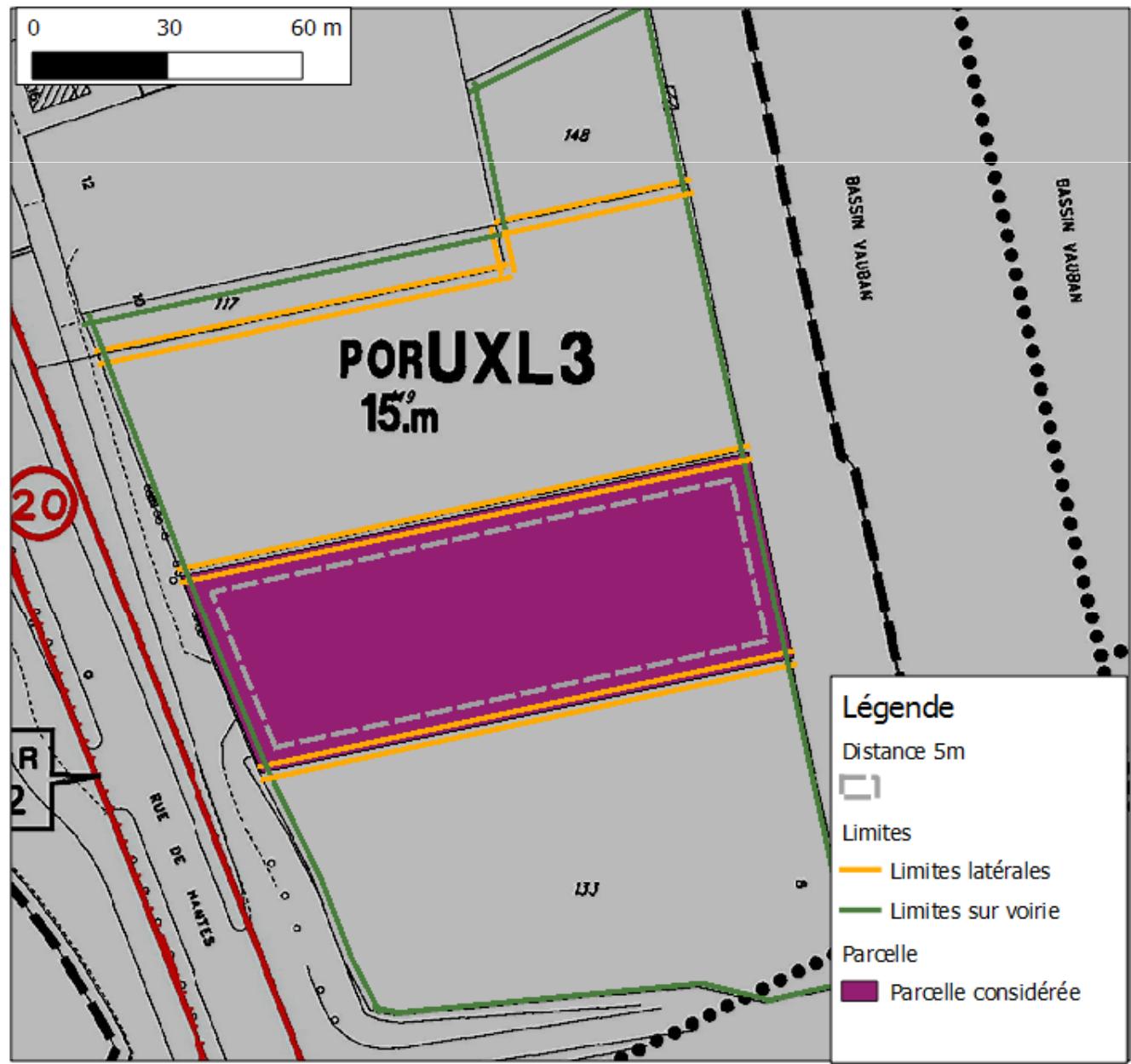
Expérimentations

- Zone d'étude

- Parcelle industrielle zone UXL3 de Strasbourg

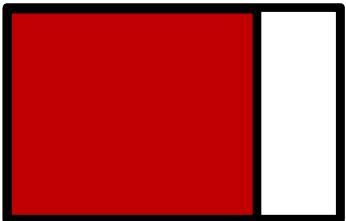
- Limitation d'implantation

- Règles



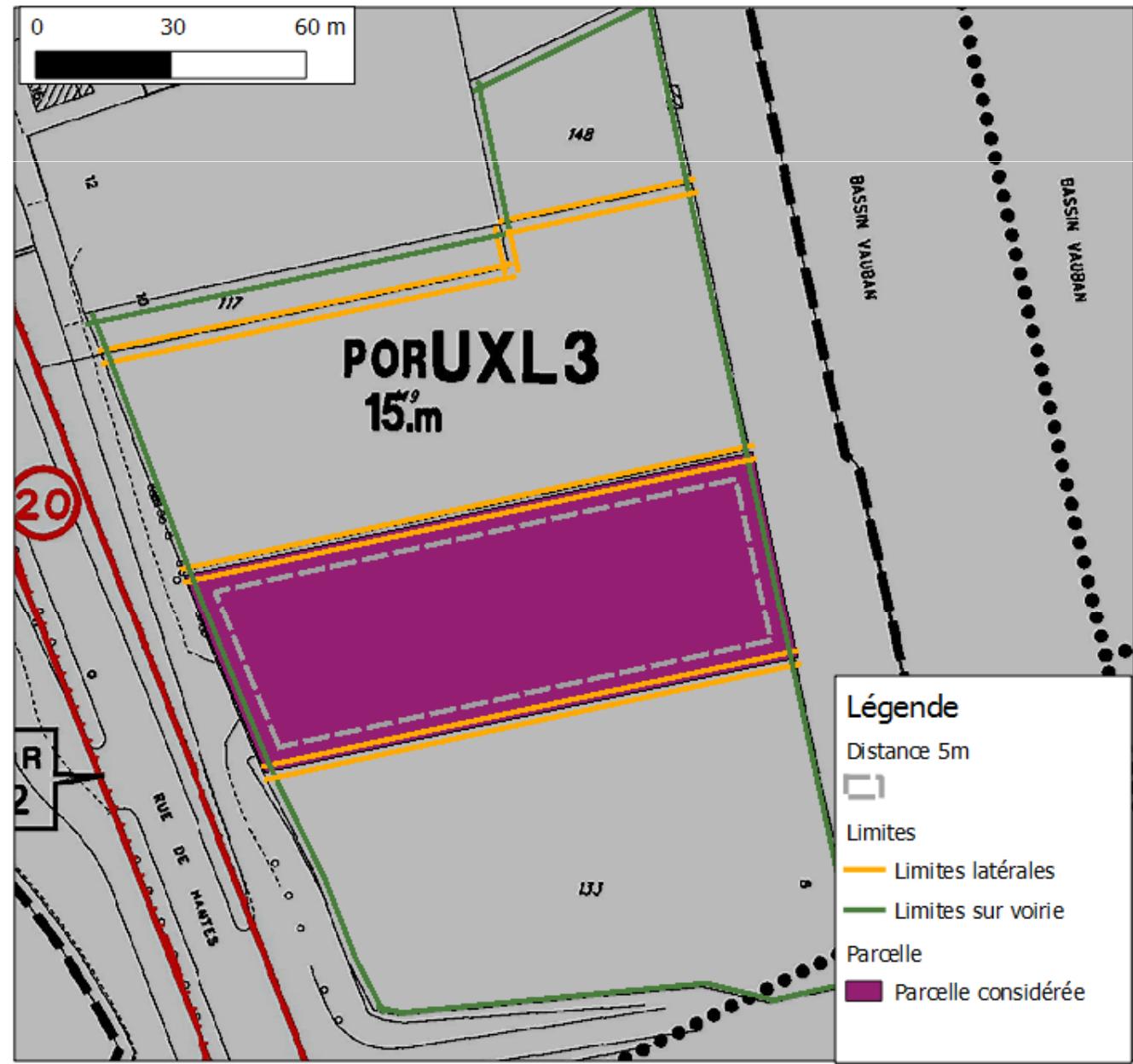
Expérimentations

- Zone d'étude
 - Parcelle industrielle zone UXL3 de Strasbourg
- Règles
 - Limitation emprise bâtie



75%

- Limitation d'implantation



Expérimentations

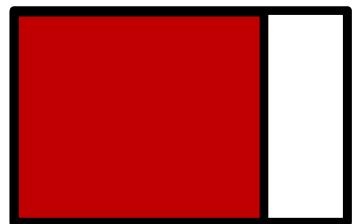
- Zone d'étude

- Parcelle industrielle zone UXL3 de Strasbourg

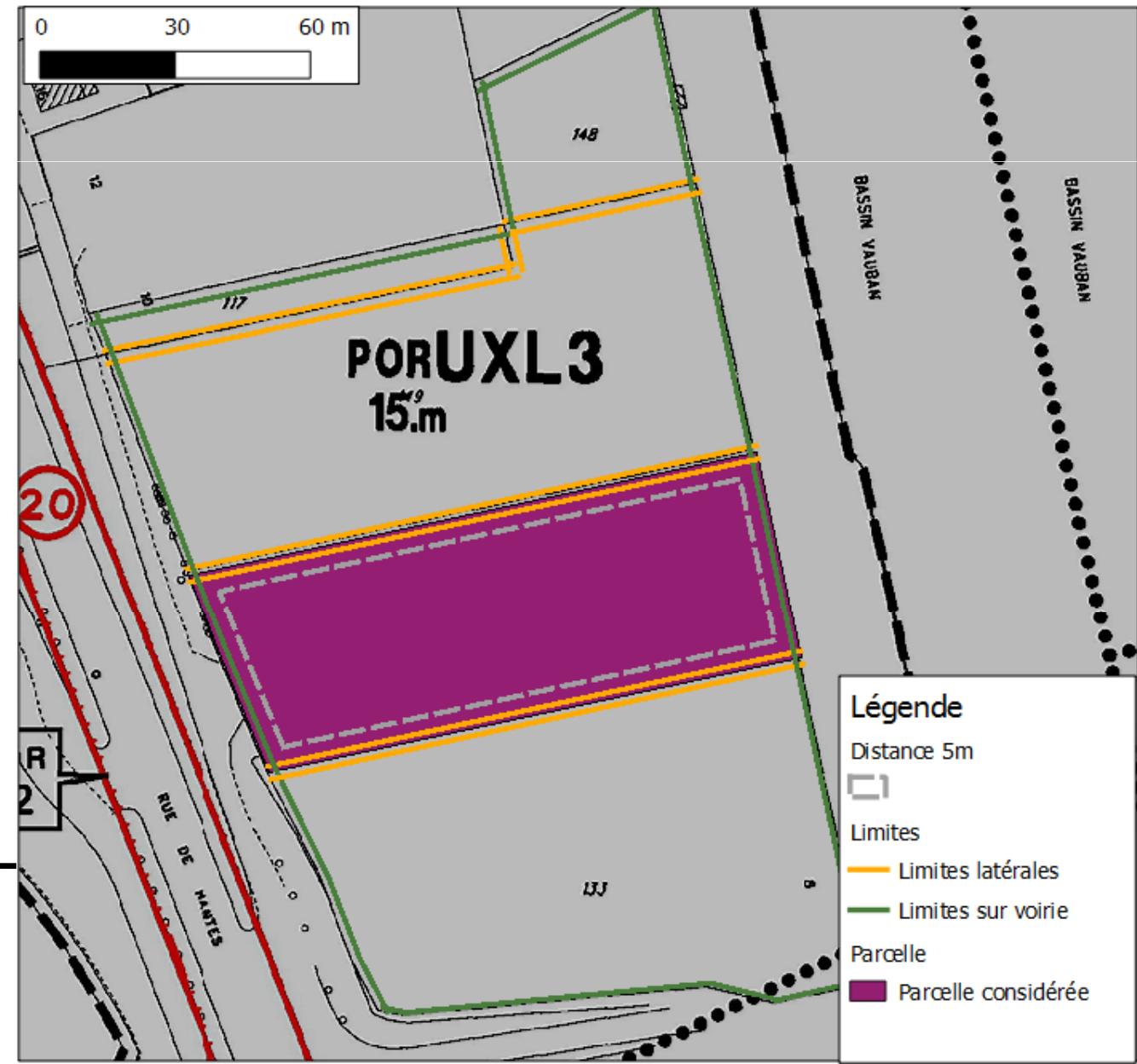
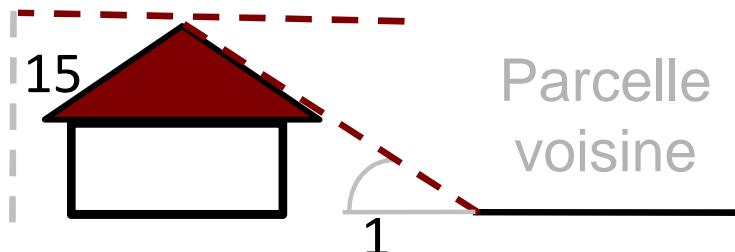
- Limitation d'implantation

- Règles

- Limitation emprise bâtie

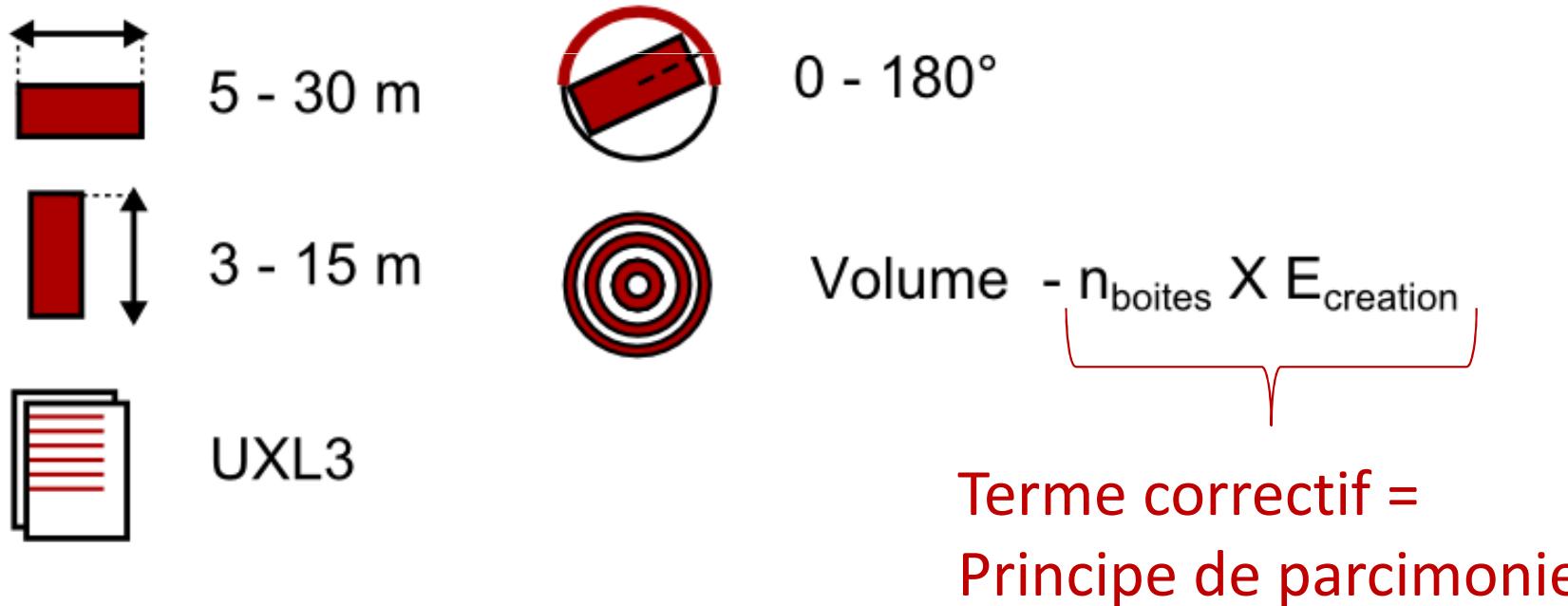


- Limitation hauteur



Expérimentations

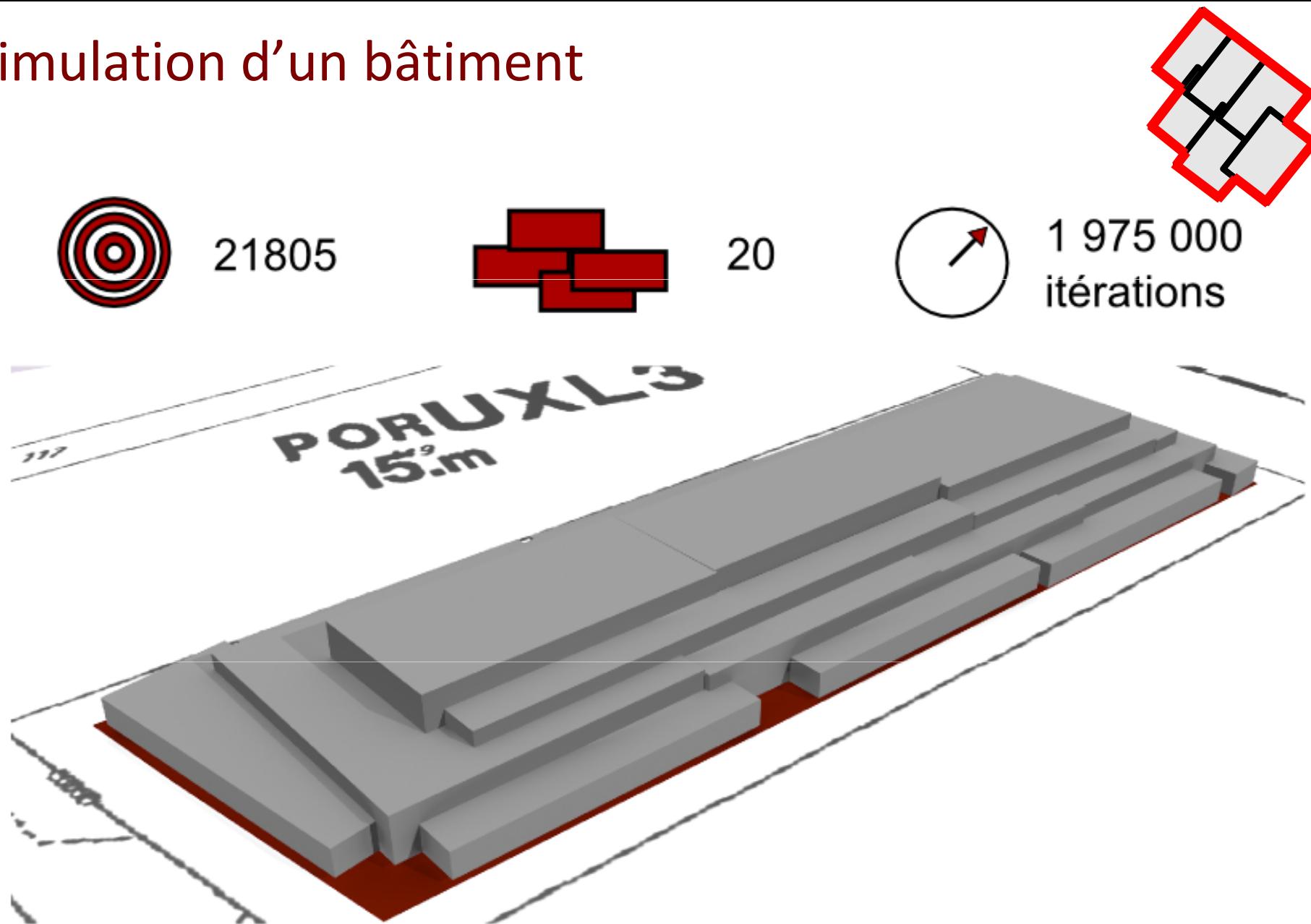
- Scénario



- Critère d'arrêt : amélioration du meilleur candidat ne dépassant pas ΔE pendant n itérations

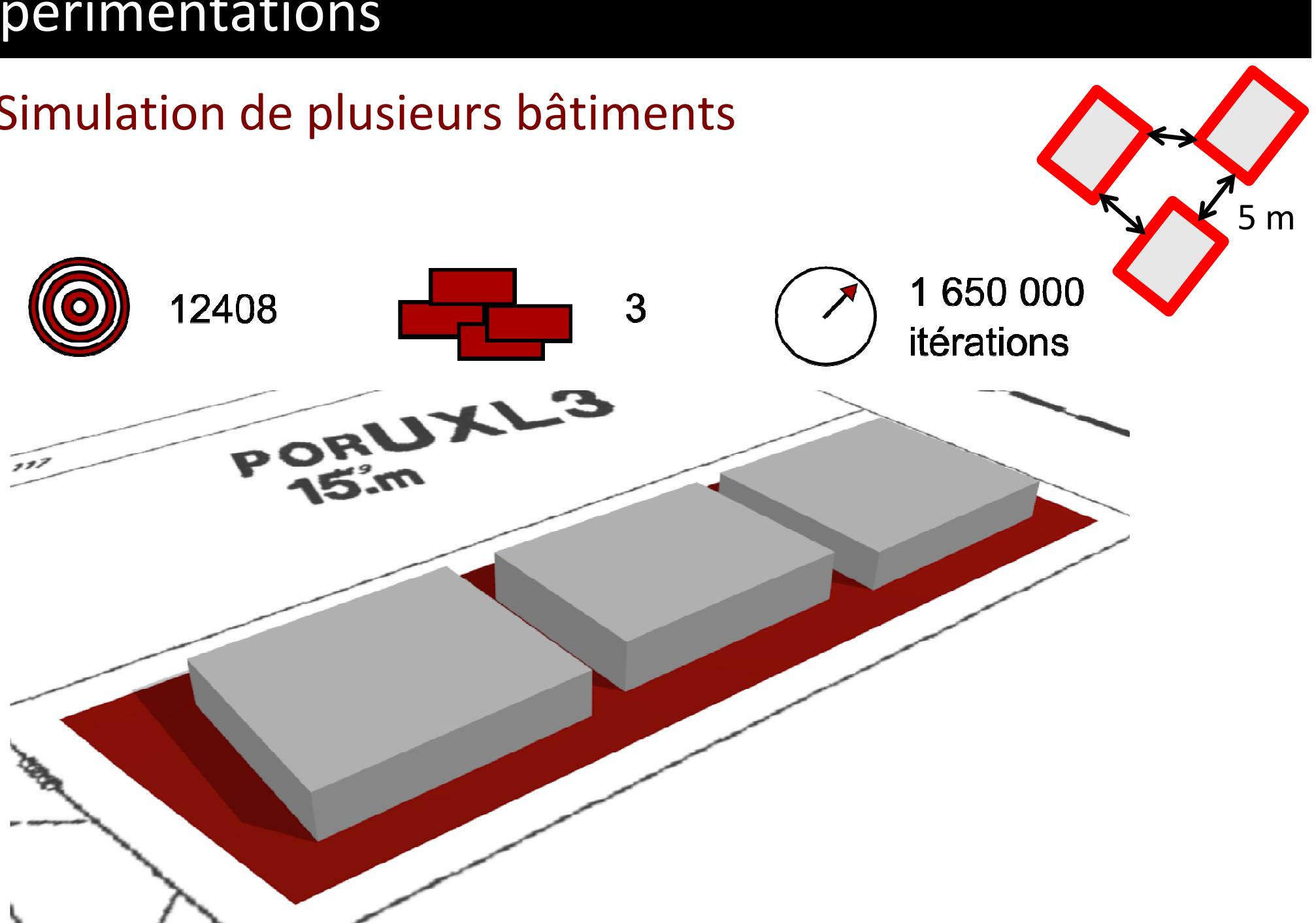
Expérimentations

- Simulation d'un bâtiment



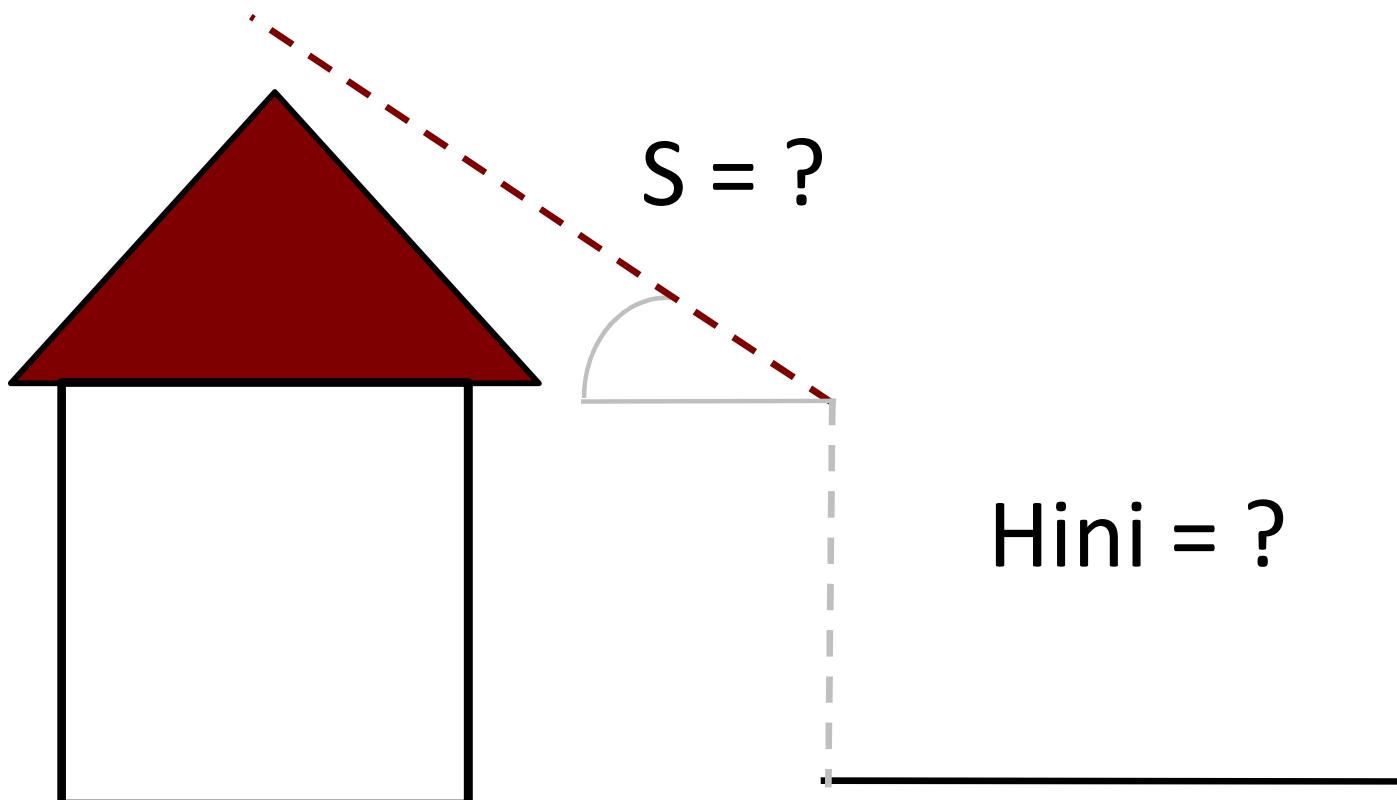
Expérimentations

- Simulation de plusieurs bâtiments



Expérimentations

- Influence de paramètres de règles sur le volume constructible sur un ensemble de parcelles (Zone UB14 Strasbourg)



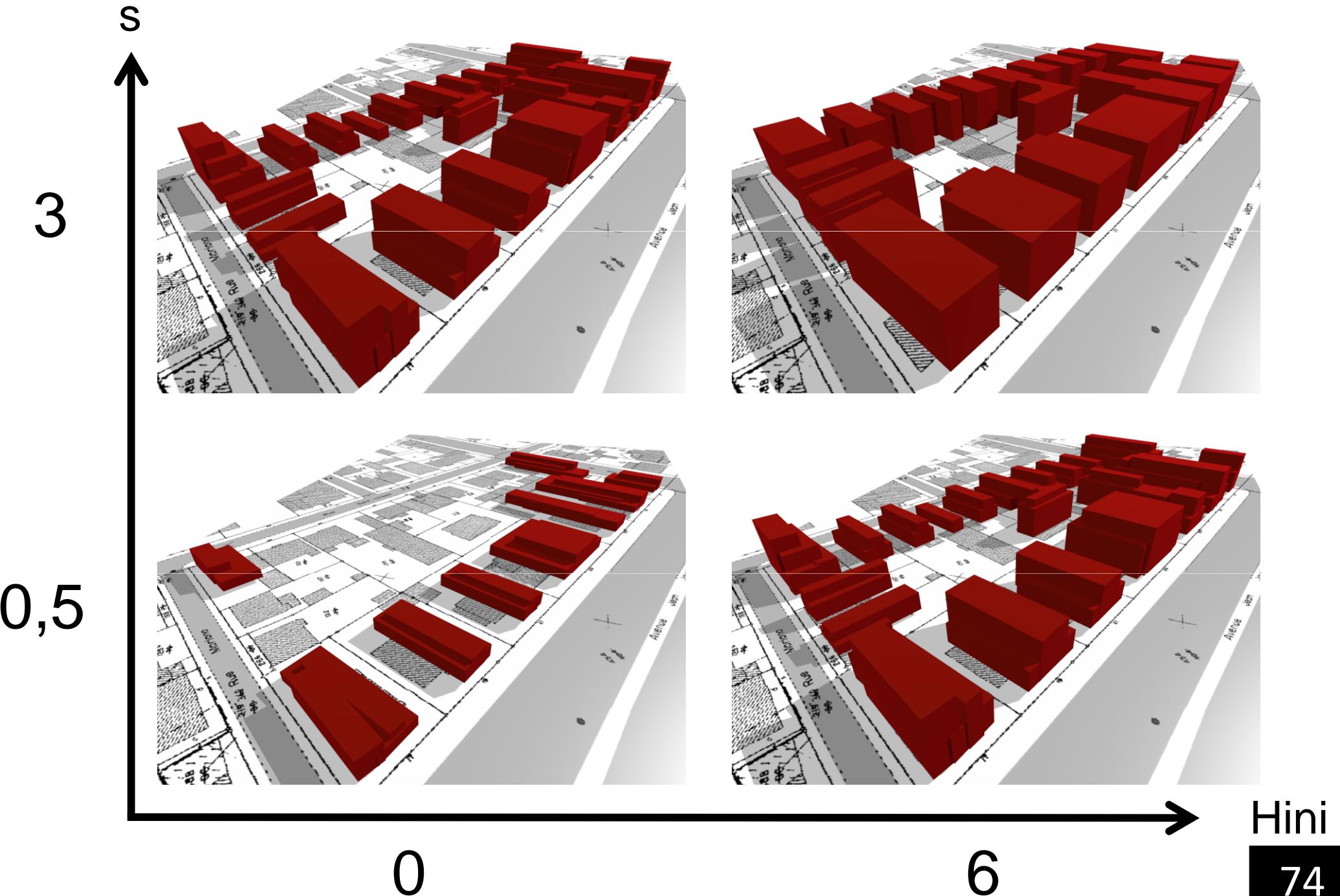
Parcelle
voisine

Expérimentations

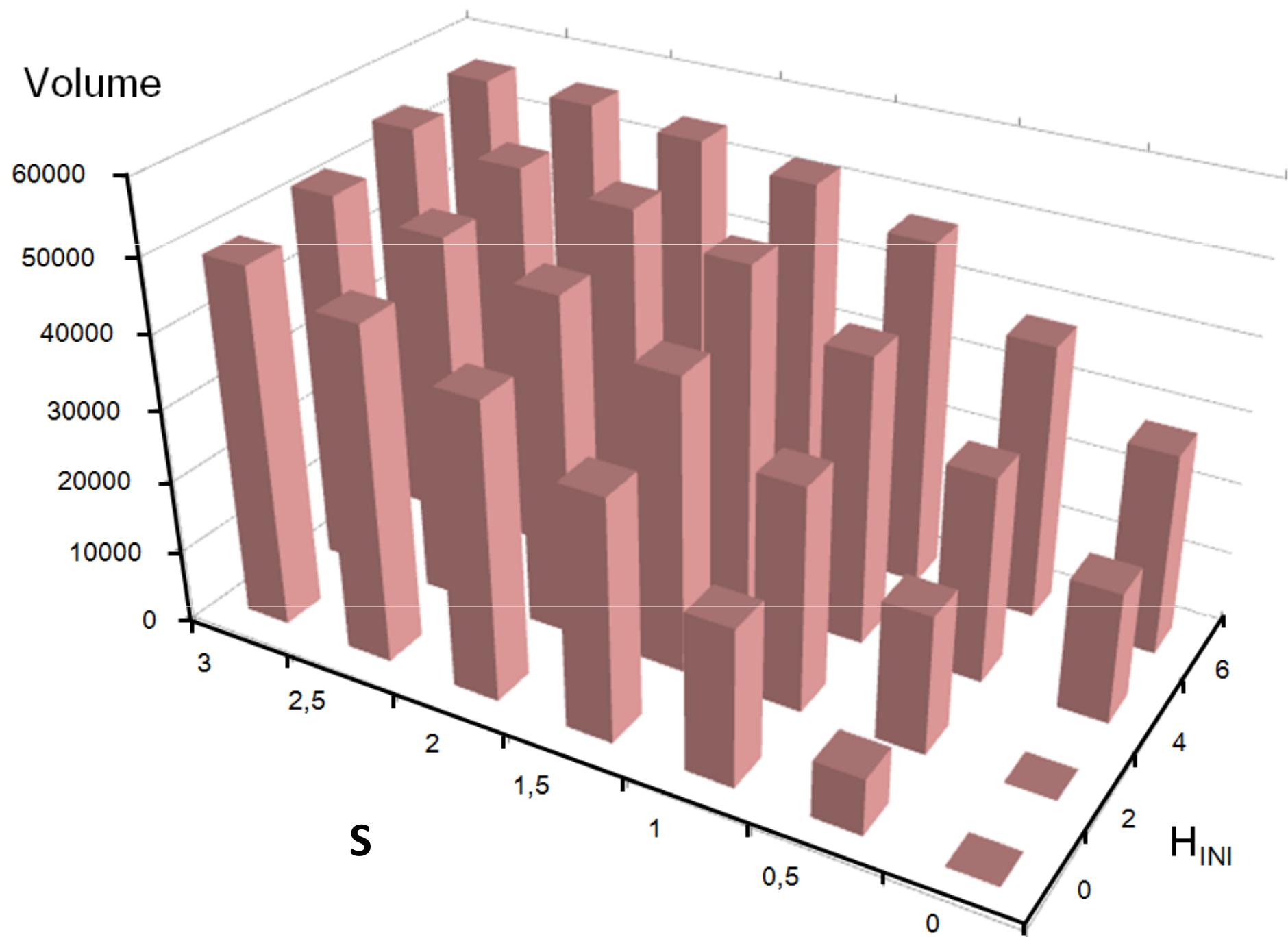
- Influence de paramètres de règles sur le volume constructible sur un ensemble de parcelles (Zone UB14 Strasbourg)



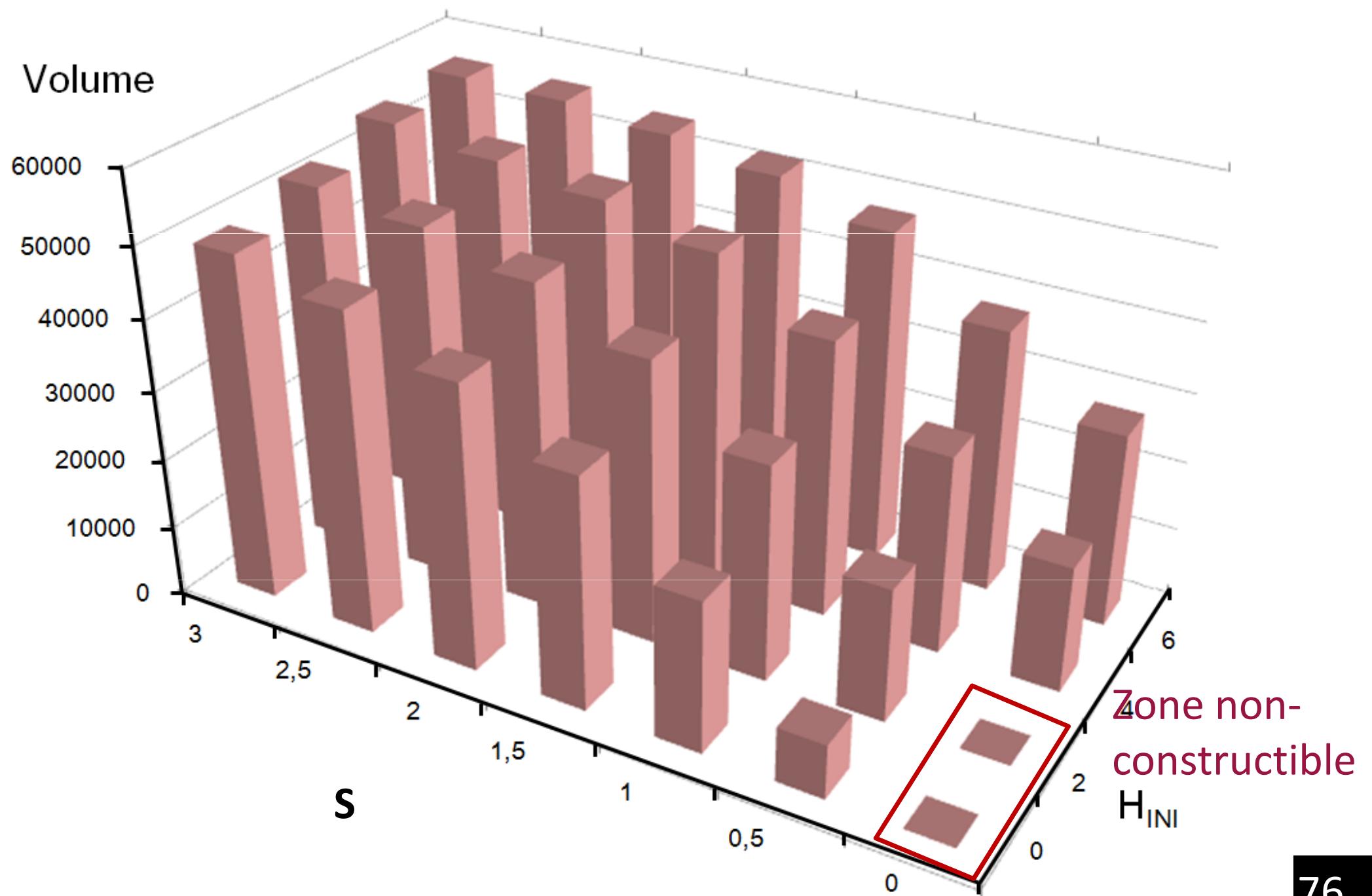
Expérimentations



Expérimentations



Expérimentations



Expérimentations

Faibles variations

Volume

60000

50000

40000

30000

20000

10000

0

3

2,5

2

1,5

1

0,5

0

S

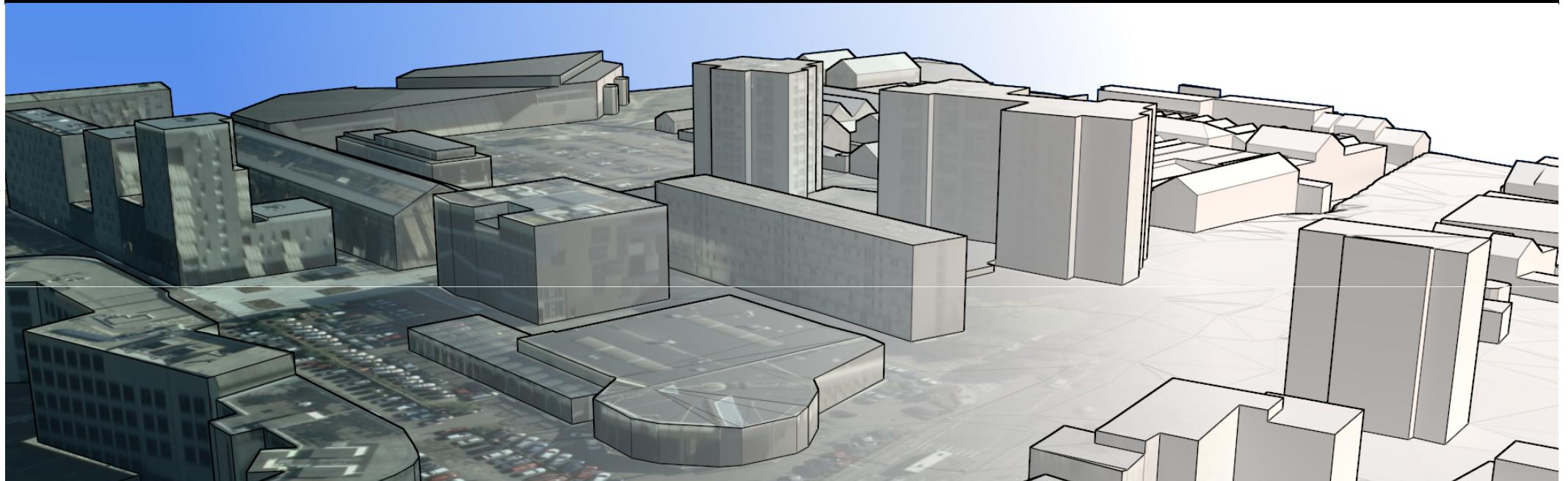
6

4

2

0

Zone non-
constructible
 H_{INI}



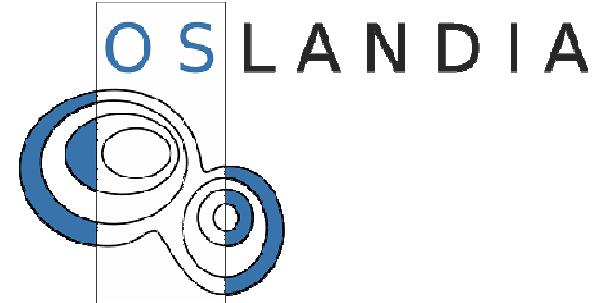
CONCLUSION

Conclusion

- **Nos apports :**
 - Formalisation du règlement d'urbanisme
 - Méthode générique et extensible
 - Vérification du respect de règles d'urbanisme
 - Processus d'intégration et d'enrichissement des données géographiques 3D
 - Méthodes géométriques 2D et 3D
 - Méthode de génération de bâtiments basé sur un processus d'optimisation sous contraintes
 - Adaptation de la méthode de recuit simulé à notre problème
 - Prototypage basé sur des bibliothèques Open-Source

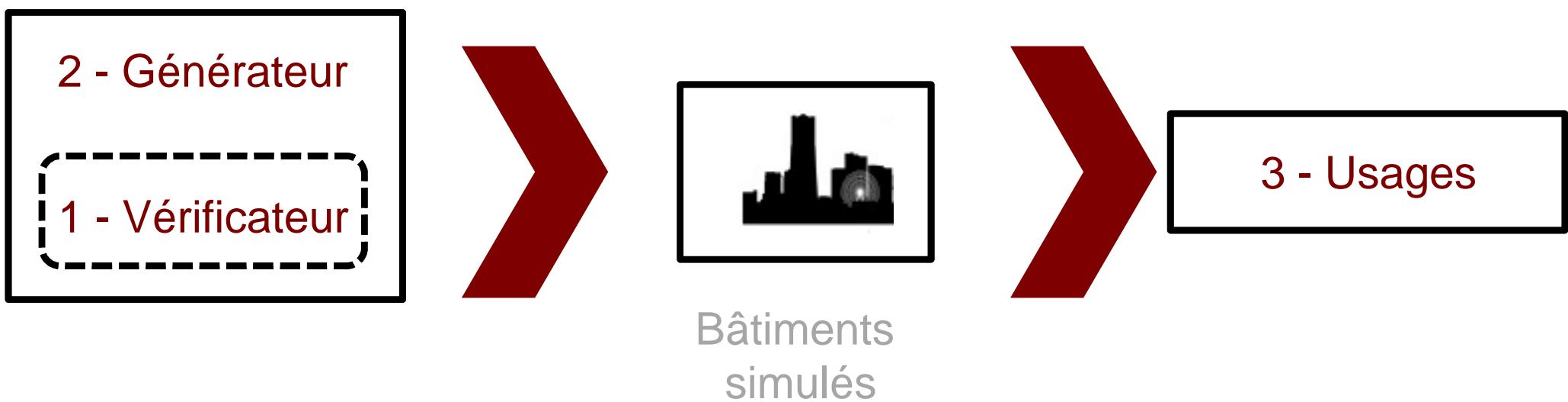
Perspectives

- Projet FEDER e-PLU



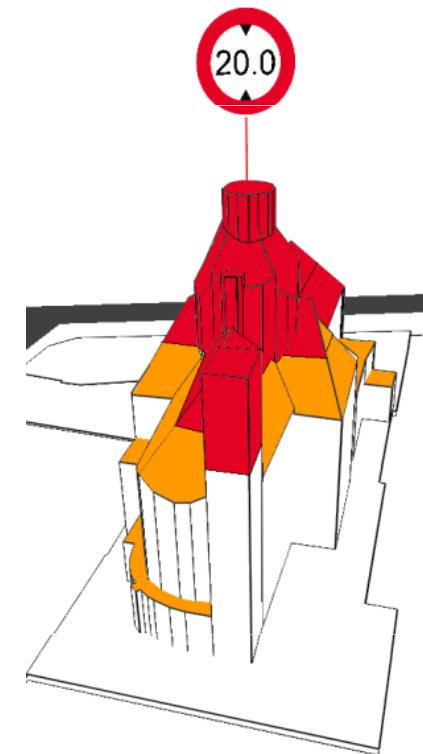
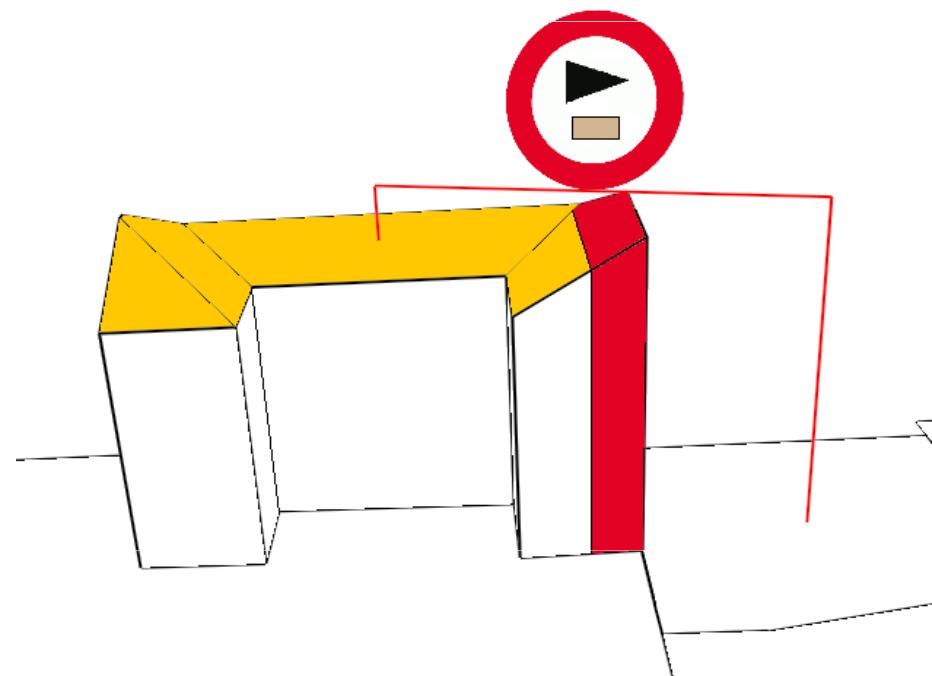
- Conception d'une plate-forme opérationnelle d'ingénierie territoriale
 - Module d'évaluation des droits à bâtir
- Expérimentations en lien avec la Plaine Commune
 - Validation thématique des constructions générées
 - Présentation des résultats

Perspectives



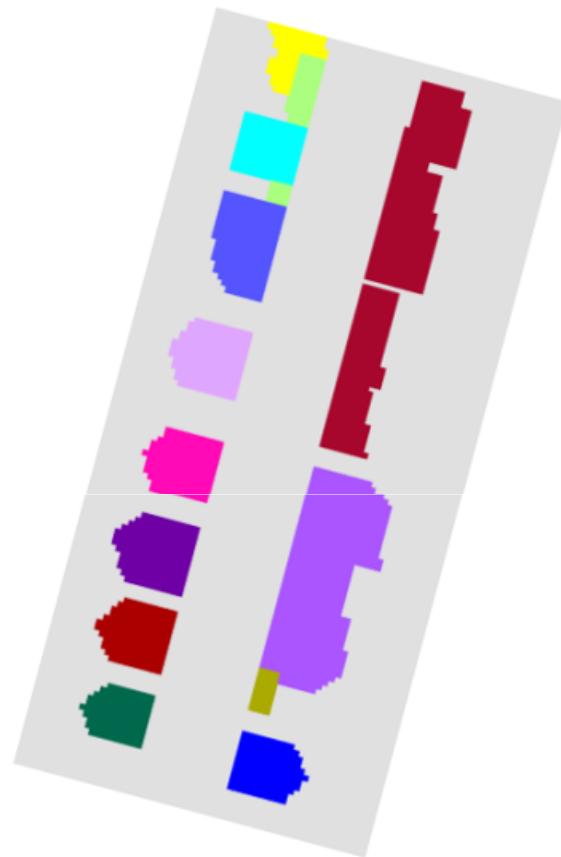
Perspectives

- Vérification des règles
 - Indication des objets ne respectant pas les règles



Perspectives

- Vérification des règles
 - Indication des objets ne respectant pas les règles
 - Prise en compte d'autres éléments réglementaires



[Stage Marina Fund, 2012]

Perspectives

- Génération de bâtiments
 - Temps d'exécution

Perspectives

- Génération de bâtiments
 - Temps d'exécution
 - Autres objets géographiques



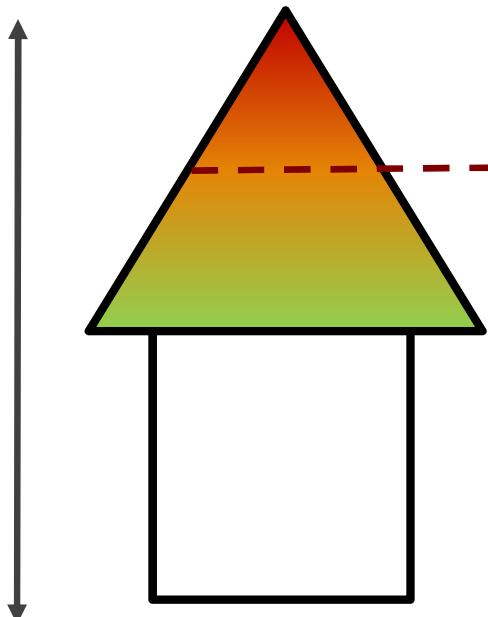
Perspectives

- Génération de bâtiments

- Temps d'exécution
- Autres objets géographiques
- Prise en compte des incertitudes

[Post-Doc Shuang He]

$H_{max} \text{ mesurée} = 8.25 \text{m}$



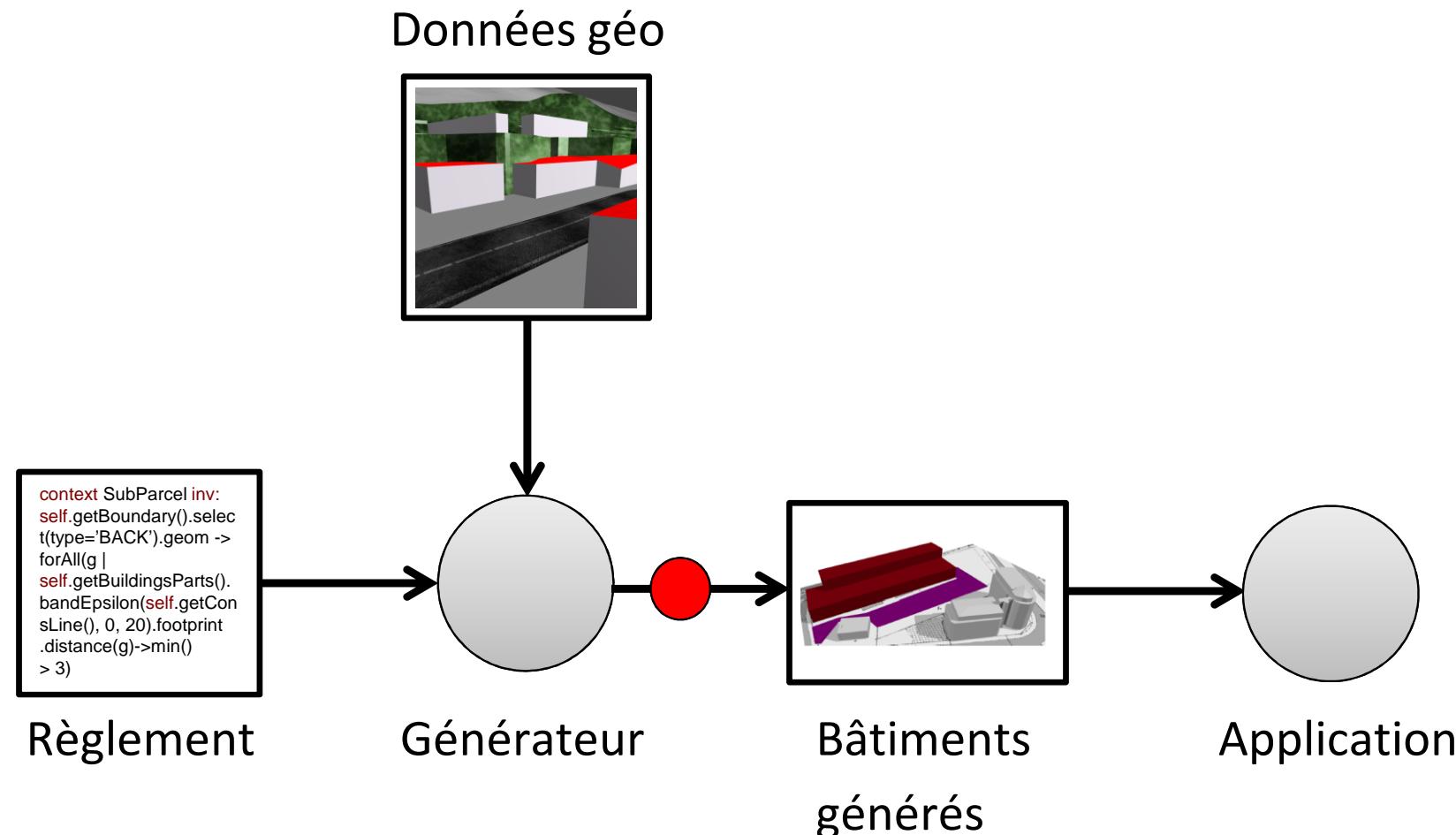
$H_{max} \text{ autorisée} = 8 \text{m}$

Précision altimétrique $\sim 0.5 \text{m}$

Ce bâtiment respecte-t-il la contrainte de hauteur maximale ?

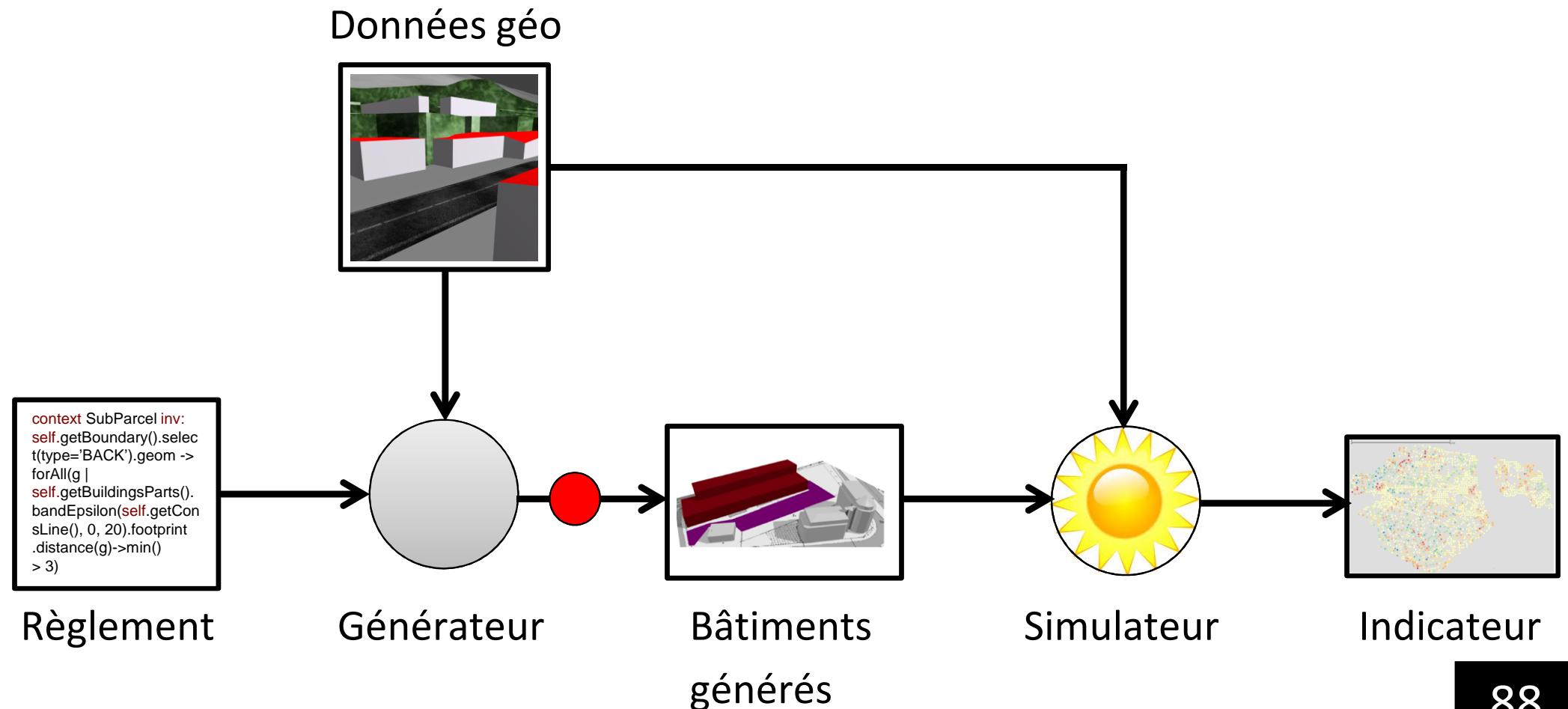
Perspectives

- Usages du générateur
 - Post-traitement des données



Perspectives

- Usages du générateur
 - Post-traitement des données
 - Simulateurs de phénomènes urbains



Perspectives

• Usages du générateur

- Post-traitement des données
- Simulateurs de phénomènes urbains
- « Problème inverse »



Perspectives

• Usages du générateur

- Post-traitement des données
- Simulateurs de phénomènes urbains
- « Problème inverse »

