

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

Sous la direction de M. Brasebin, J. Perret & C. Tannier
Soutenance de thèse

Maxime Colomb

2019-09-19

Introduction

Contexte : le phénomène d'étalement urbain

- Répond aux souhaits d'un grand nombre de ménages
- Multiples effets négatifs
- Objectif de régulation des pouvoirs publics



Dynamiques résidentielles prépondérantes (Joly 03, Wiel 13)

Divers documents d'aménagement réglementant l'extension résidentielle

Échelle
Administrative

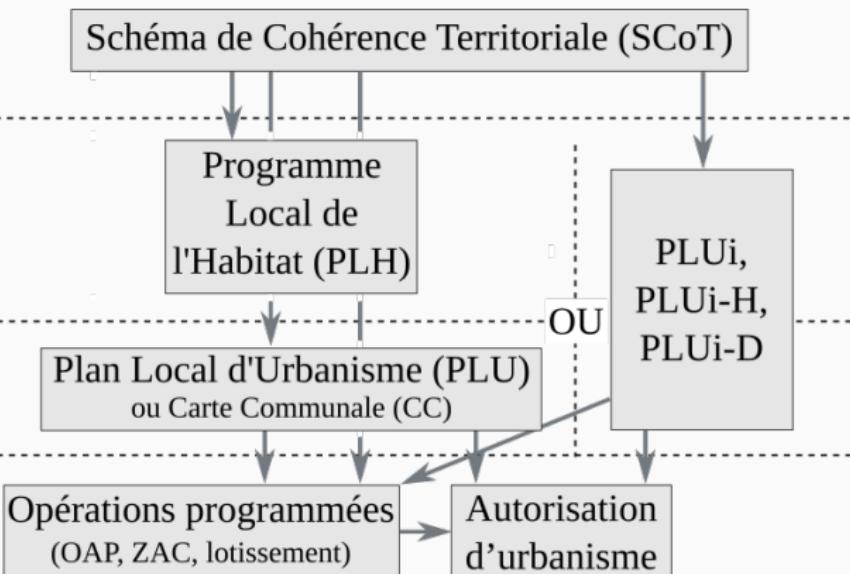
Échelle du bassin
de vie

Échelle inter-
communale

Échelle
communale

Échelle parcellaire

Document d'aménagement



Différents types de contraintes réglementaires

<i>Type de contrainte Échelle</i>	Zone non urbanisable	Position des bâtiments	Type des bâtiments	Type des logements
Bassin de vie	Artificialisation	Orientation du développement résidentiel	Densification	
Inter-communale	Prévention des risques	Accessibilité	Types de bâtiments	Objectifs de création de logements
Communale		Zonage	Règlement	
Parcellaire			Opérations spéciales d'aménagement	

- Différents **rédacteurs**
- Différentes **échelles** d'application
- Objectifs divers
- Effets incertains
- Combinaison potentiellement **contradictoire**

- Différents **rédacteurs**
- Différentes **échelles** d'application
- Objectifs divers
- Effets incertains
- Combinaison potentiellement **contradictoire**

Tester les effets combinés des documents d'urbanisme sur le développement résidentiel afin de **représenter** leurs **articulation** grâce à la **modélisation**

- Différents **rédacteurs**
- Différentes **échelles** d'application
- Objectifs divers
- Effets incertains
- Combinaison potentiellement **contradictoire**

Tester les effets combinés des documents d'urbanisme sur le développement résidentiel afin de **représenter** leurs **articulation** grâce à la **modélisation**

Trouver une modélisation adapté aux phénomènes agissant aux différentes échelles

Moyens : Outils d'aide à la décision pour l'aménagement à visée prospective

Objectifs

Modélise **un ou plusieurs phénomènes** réels

Simule des **évolutions** probables du système étudié

Moyens : Outils d'aide à la décision pour l'aménagement à visée prospective

Objectifs

Modélise **un ou plusieurs phénomènes** réels

Simule des **évolutions** probables du système étudié

Utilisations

Représenter des futurs potentiels, recherchés, redoutés

Permettre de comparer plusieurs **scénario** Utilisation en tant qu'**outil** pour l'**aide** à la conception de documents

Moyens : Outils d'aide à la décision pour l'aménagement à visée prospective

Objectifs

Modélise **un ou plusieurs phénomènes** réels

Simule des **évolutions** probables du système étudié

Utilisations

Représenter des futurs potentiels, recherchés, redoutés

Permettre de comparer plusieurs **scénario** Utilisation en tant qu'**outil** pour l'**aide** à la conception de documents

Limites

Approximations inhérentes à la **modélisation** des phénomènes et aux **niveaux de détails**

Possibilitées plutôt que prédictions

- Développement résidentiel à différents niveaux d'échelles

Les résultats à modéliser

- Développement résidentiel à différents niveaux d'échelles
- Simuler divers critères d'évaluation de la planification, comme :

- Développement résidentiel à différents niveaux d'échelles
- Simuler divers critères d'évaluation de la planification, comme :
 - La création de logements

Les résultats à modéliser

- Développement résidentiel à différents niveaux d'échelles
- Simuler divers critères d'évaluation de la planification, comme :
 - La création de logements
 - La densité de logements par hectare

Les résultats à modéliser

- Développement résidentiel à différents niveaux d'échelles
- Simuler divers critères d'évaluation de la planification, comme :
 - La création de logements
 - La densité de logements par hectare
 - L'accessibilité (aux transports en communs, ...)

Les résultats à modéliser

- Développement résidentiel à différents niveaux d'échelles
- Simuler divers critères d'évaluation de la planification, comme :
 - La création de logements
 - La densité de logements par hectare
 - L'accessibilité (aux transports en communs, ...)
- Pas d'évolution temporelles
- Pas de reproduction des phénomènes antérieurs

Les résultats à modéliser

- Développement résidentiel à différents niveaux d'échelles
- Simuler divers critères d'évaluation de la planification, comme :
 - La création de logements
 - La densité de logements par hectare
 - L'accessibilité (aux transports en communs, ...)
- Pas d'évolution temporelles
- Pas de reproduction des phénomènes antérieurs
- Solutions libres et open-source pour une recherche **vérifiable** et **reproductible**

État de l'art des outils d'aide à la décision dans l'aménagement à visée prospectif

Introduction
ArtiScales
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du thème
Utilisation
Conclusion

État de l'Art :

De nombreux outils *spatialement explicite* à visée prospective existent

État de l'art des outils d'aide à la décision dans l'aménagement à visée prospectif

Introduction
ArtiScales
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du foncier
Utilisation thématique
Conclusion

Modèle d'aide à la décision multi-critères permet de :

- Prend en compte de nombreux paramètres pondérés pour dégager une décision
- Pondérer les différents systèmes intéressants pour le développement résidentiel

État de l'art des outils d'aide à la décision dans l'aménagement à visée prospectif

Introduction
ArtiScales
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du foncier
Utilisation thématique
Conclusion

Problèmes des modèles d'aide à la décision multi-critères :

- Solutions pré-déterminées
- Un phénomène plutôt qu'une interaction complexe entre différents systèmes

État de l'art des outils d'aide à la décision dans l'aménagement à visée prospectif

Introduction
ArtiScales
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du foncier
Utilisation thématique
Conclusion

Les modèles d'**étude du marché immobilier** (UrbanSimul (), ...)

- Analyser le marché de l'immobilier, la pression foncière
- Propose des prédictions sur l'état du marché et sur les futures urbanisations

État de l'art des outils d'aide à la décision dans l'aménagement à visée prospectif

Introduction
ArtiScales
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du foncier
Utilisation thématique
Conclusion

Problèmes des **modèles d'étude du marché immobilier**
(UrbanSimul (), ...) :

- Peu adapté à représenter la compléxité des mécanismes multi-échelles d'un développement résidentiel
- Résultats dépendants du marché et difficile à contraindre par les règlements d'urbanisme

État de l'art des outils d'aide à la décision dans l'aménagement à visée prospectif

Introduction
ArtiScales
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du foncier
Utilisation thématique
Conclusion

Ces outils sont appliqués à la résolution d'un problème défini et peu réutilisable

État de l'art des modèles de simulation du développement résidentiel de faits simplifiés

Introduction
ArtiScales
Géométrie
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du foncier
Utilisation thématique
Conclusion

Fait simplifiés : modélisation de phénomènes complexes grâce à des objets géométriques *simplifiés*

État de l'art des modèles de simulation du développement résidentiel de faits simplifiés

Introduction
ArtiScales
Modèle
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du fonc.
Utilisation thématique
Conclusion

Les **automates cellulaires** (Yeh 2015, Mustafa 2018) sont utilisés pour

- fournir une représentation synthétique et simplifiée de l'espace grâce à un carroyage
- simuler des changements d'états dynamiques pour chacune des cellules en fonction d'équations

État de l'art des modèles de simulation du développement résidentiel de faits simplifiés

Introduction
ArtiScales
Simplifiés
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du foncier
Utilisation thématique
Conclusion

Les **automates cellulaires** (Yeh 2015, Mustafa 2018) ne permettent pas de

- traiter des formes géographiques complexes (parcelles, bâtiments)

État de l'art des modèles de simulation du développement résidentiel de faits simplifiés

Introduction
ArtiScales
Scales
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du fonc.
Utilisation thématique
Conclusion

Les **modèles Multi-Agents** (Artznete 10, ...) permettent de

- représenter un système en reproduisant les comportements d'agents et leurs interactions
- permet l'émergence de configurations particulières

État de l'art des modèles de simulation du développement résidentiel de faits simplifiés

Introduction
ArtiScales
Scales
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du foncier
Utilisation thématique
Conclusion

Problèmes des **modèles Multi-Agents** (Artznete 10, ...) :

- Très dynamique
- Modélisation de notre problème trop compliquée

État de l'art des modèles de simulation du développement résidentiel de faits simplifiés

Introduction
ArtiScales
Simplifiés
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du thème
Utilisation
Conclusion

Les modèles simplifiés ne sont pas assez descriptifs pour représenter le développement résidentiel à un niveau très local

État de l'art des modèles de simulation du développement résidentiel génératif

Introduction
ArtiScales
Géomodel
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du foncier
Utilisation thématique
Conclusion

Génération d'îlots urbains

- processus géo-historiques GeOpenSim (Perret 2010)

État de l'art des modèles de simulation du développement résidentiel génératif

Introduction
ArtiScales
Géomodel
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du foncier
Utilisation thématique
Conclusion

Génération de parcelles

- processus géo-historiques (Perret 2015)
- génération procédurale (Vanegas 2012)
- génération paramétrique (Yazýcý 2016)

État de l'art des modèles de simulation du développement résidentiel génératif

Introduction
ArtiScales
Scales
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du foncier
Utilisation thématique
Conclusion

Génération de bâtiments

- génération procédurale (BIM)
- génération paramétrique (Coors 2009)
- optimisation sous contrainte (Brasebin 2014)

État de l'art des modèles de simulation intégrés de développement résidentiel

Introduction
MultiScales
IMP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du foncier
Utilisation thématique
Conclusion

Les approches intégrées, tel que les LUTI (Land-Use and Transportation Interaction), permettent de :

- simuler les interactions entre différents modèles (occupation du sol, transport, systèmes économiques ...)
- Comparer les évolutions des systèmes modélisés dans une approche prospectives

État de l'art des modèles de simulation intégrés de développement résidentiel

Introduction
MultiScales
IMP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du foncier
Utilisation thématique
Conclusion

Problèmes avec les approches intégrées, tel que les LUTI :

- mise en œuvre conséquente
- modélistation des mobilités non nécessaire à notre problème

État de l'art des modèles de simulation intégrés de développement résidentiel

Introduction
MultiScales
IMP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du foncier
Utilisation thématique
Conclusion

Problèmes avec les approches intégrées, tel que les LUTI :

- mise en œuvre conséquente
- modélistation des mobilités non nécessaire à notre problème

Approche intéressante du **couplage de modules** agissant à **différentes échelles**

Problématique

Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique
Conclusion

Il n'existe pas de modèles permettant de simuler un développement résidentiel multi-échelle, multi-constraint et suffisamment descriptif pour s'adapter aux contraintes locales.

Problématique

Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique
Conclusion

Comment **simuler** le **développement résidentiel** d'une région urbaine à un niveau **très détaillé**, afin d'**explorer**/identifier les effets combinés des différents types de **documents de planification et d'urbanisme** ?

Objectifs de la thèse

Création d'un modèle de développement résidentiel afin de simuler des évolutions :

- réaliste (respectant les règlements et les contraintes physiques et fonctionnelles)
- multi-échelle (d'une région urbaine à la parcelle)
- ouvert (réutilisable et discutable)

Objectifs de la thèse

Création d'un modèle de développement résidentiel afin de simuler des évolutions :

- réaliste (respectant les règlements et les contraintes physiques et fonctionnelles)
- multi-échelle (d'une région urbaine à la parcelle)
- ouvert (réutilisable et discutable)

Comportement particulier

- Sans calibration provenant des développements résidentiels passés pour pouvoir se concentrer sur l'effet des documents d'urbanisme
- Sans dynamique temporelles pour exprimer le potentiel de développement résidentiel à un instant précis

Objectifs de la thèse

Création d'un modèle de développement résidentiel afin de simuler des évolutions :

- réaliste (respectant les règlements et les contraintes physiques et fonctionnelles)
- multi-échelle (d'une région urbaine à la parcelle)
- ouvert (réutilisable et discutable)

Comportement particulier

- Sans calibration provenant des développements résidentiels passés pour pouvoir se concentrer sur l'effet des documents d'urbanisme
- Sans dynamique temporelles pour exprimer le potentiel de développement résidentiel à un instant précis

Développement d'un nouvel outil : **ArtiScales**

Plan de la présentation

Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique
Conclusion

- Présentation d'**ArtiScales**
- Présentation des **modules** d'ArtiScales
- Analyse de la **variabilité** des modules d'ArtiScales
- Présentation d'une **expérimentation** d'ArtiScales

ArtiScales

Simulation d'un nombre et d'un type
de logement

Simulation de bâtiments contraints
par les règlements d'urbanisme sur
certaines parcelles



Simulation d'un nombre et d'un type
de logement

Simulation de bâtiments contraints
par les règlements d'urbanisme sur
certaines parcelles

SimPLU3D



Simulation d'un nombre et d'un type
de logement

Sélection d'emplacements intéressants à urbaniser traduisant des contraintes d'aménagement

Simulation de bâtiments contraints par les règlements d'urbanisme sur certaines parcelles

SimPLU3D

Simulation d'un nombre et d'un type de logement

Sélection d'emplacements intéressants à urbaniser traduisant des contraintes d'aménagement

MUP-City

Cellules d'environ 20 mètres de côté

Simulation de bâtiments contraints par les règlements d'urbanisme sur certaines parcelles

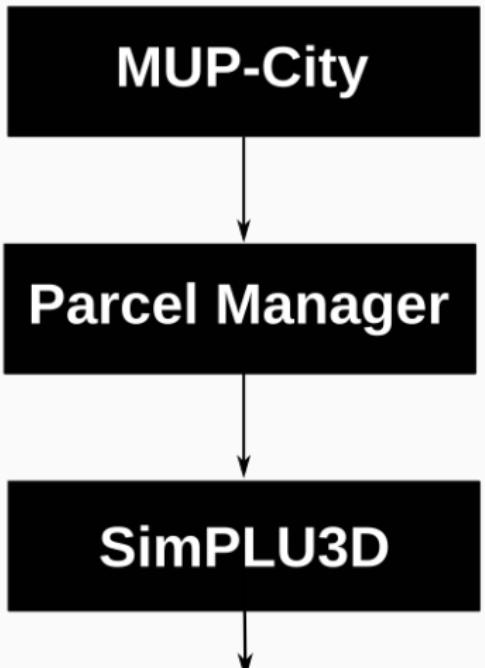
SimPLU3D

Simulation d'un nombre et d'un type de logement

Sélection d'emplacements intéressants à urbaniser traduisant des contraintes d'aménagement

Sélection (et recomposition) parcellaire

Simulation de bâtiments contraints par les règlements d'urbanisme sur certaines parcelles



Simulation d'un nombre et d'un type de logement

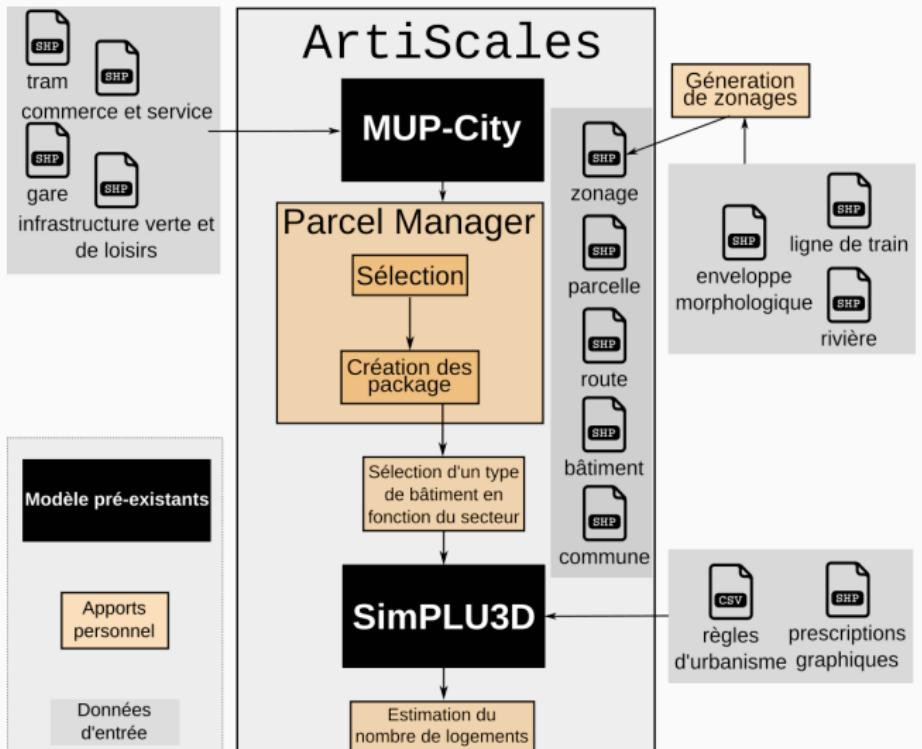
Pour l'ensemble de la zone d'étude :

- nombre total de bâtiments et de logements simulés,
- emprise au sol totale et surface de plancher totale.
- densité (logements, surface au sol, surface de plancher) par surface de parcelles bâties.

Pour chaque commune :

- surface des parcelles où un bâtiment est simulé
- densité de l'ensemble de la commune après simulation.
- nombre de logements simulés et différenciés selon leurs types
- différentiel entre le nombre de logements créés et les objectifs de création de logements
- valeur moyenne (et écart type) de la densité de logements simulée et comparé aux objectifs

ArtiScales : apports personnels

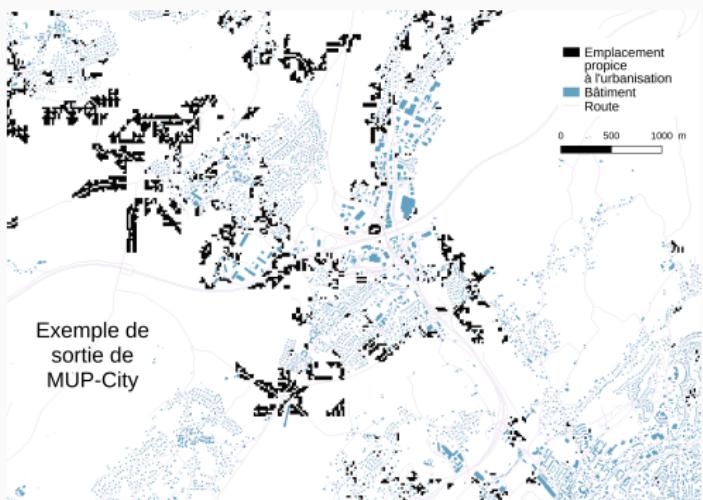


MUP-City



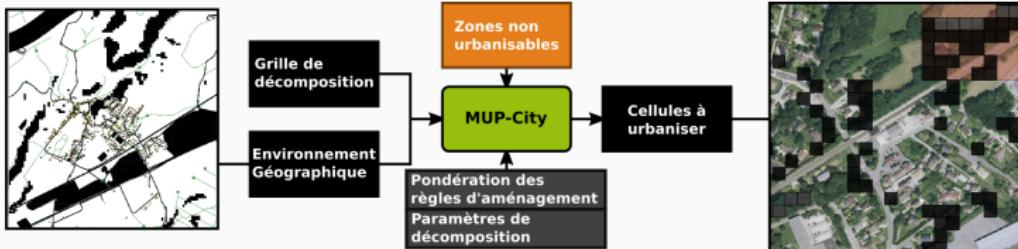
Simulation multi-échelle du développement résidentiel

- Propose une **organisation spatiale locale** pour une **région urbaine**
- Met en œuvre différentes **orientations d'aménagement**



Sorties

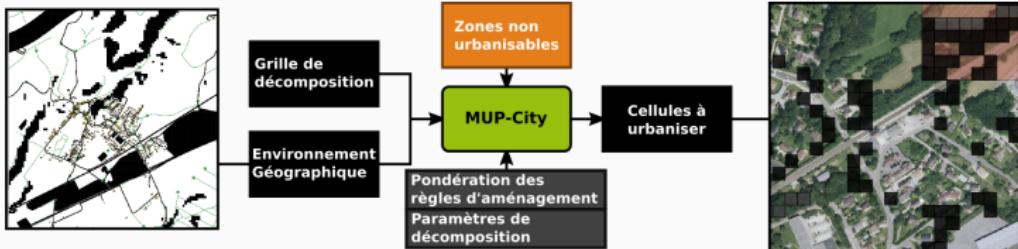
- **Cellules de 20m** de côté représentant des emplacements potentiellement urbanisables
- Évaluations suivant des critères morphologiques et d'accessibilité



Sorties

- **Cellules de 20m** de côté représentant des emplacements potentiellement urbanisables
- Évaluations suivant des critères morphologiques et d'accessibilité

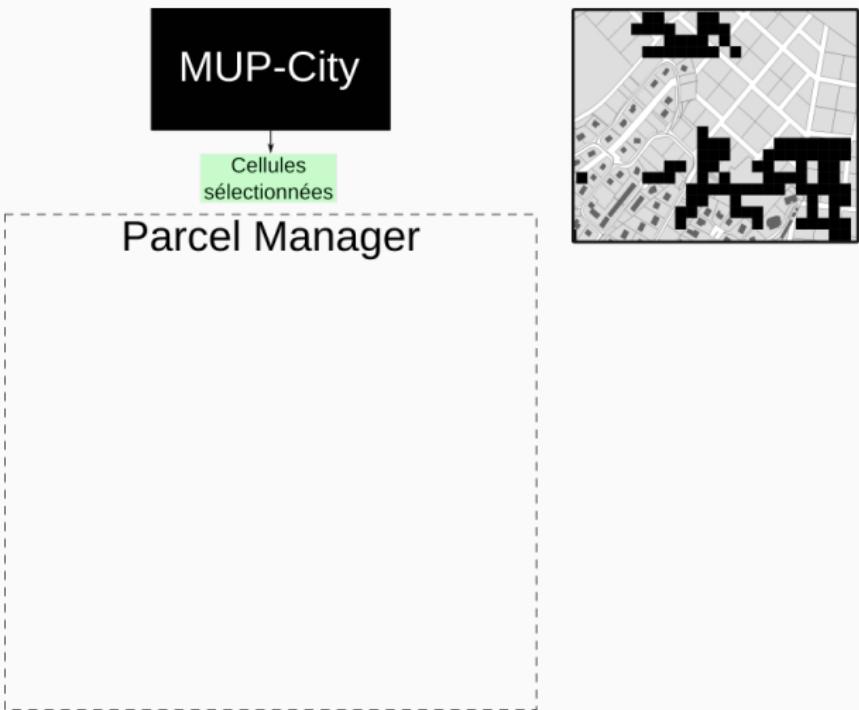
Forte variabilité dans les résultats de simulation (Tannier 2012, Fremont 2015)



Parcel Manager

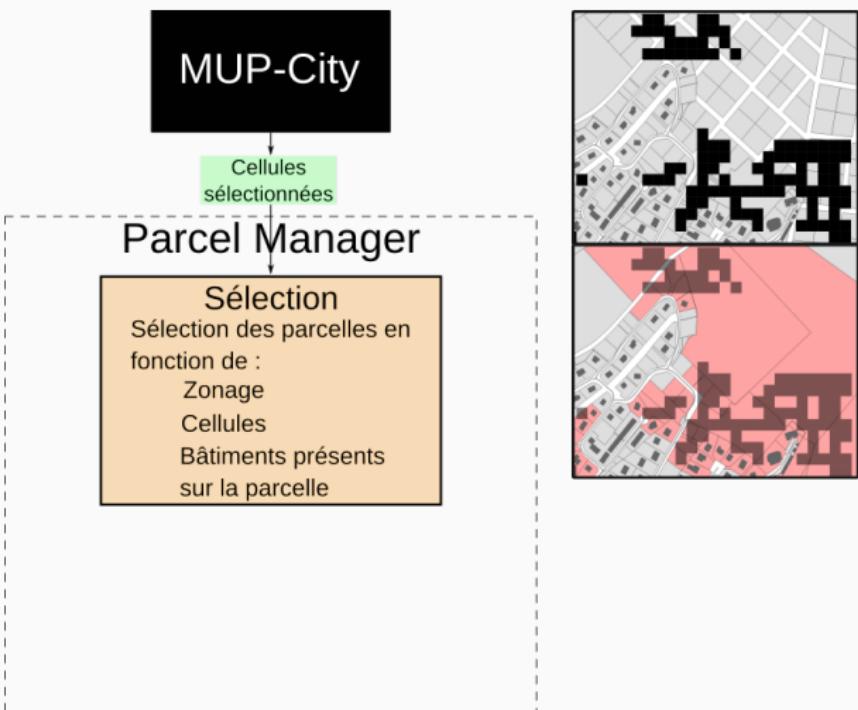
Présentation du modèle

Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique
Conclusion



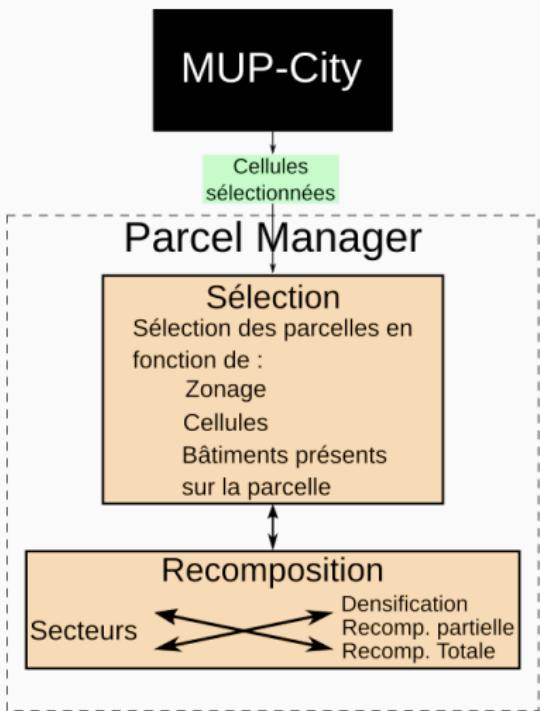
Présentation du modèle

Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique
Conclusion



Présentation du modèle

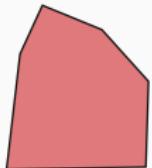
Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique
Conclusion



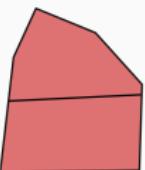
Algorithme de découpage parcellaire

adapté de Vannegas, 2012

Parcelle initiale



Boîte englobante orientée et séparée en deux



Parcelles retenues

Accès route?

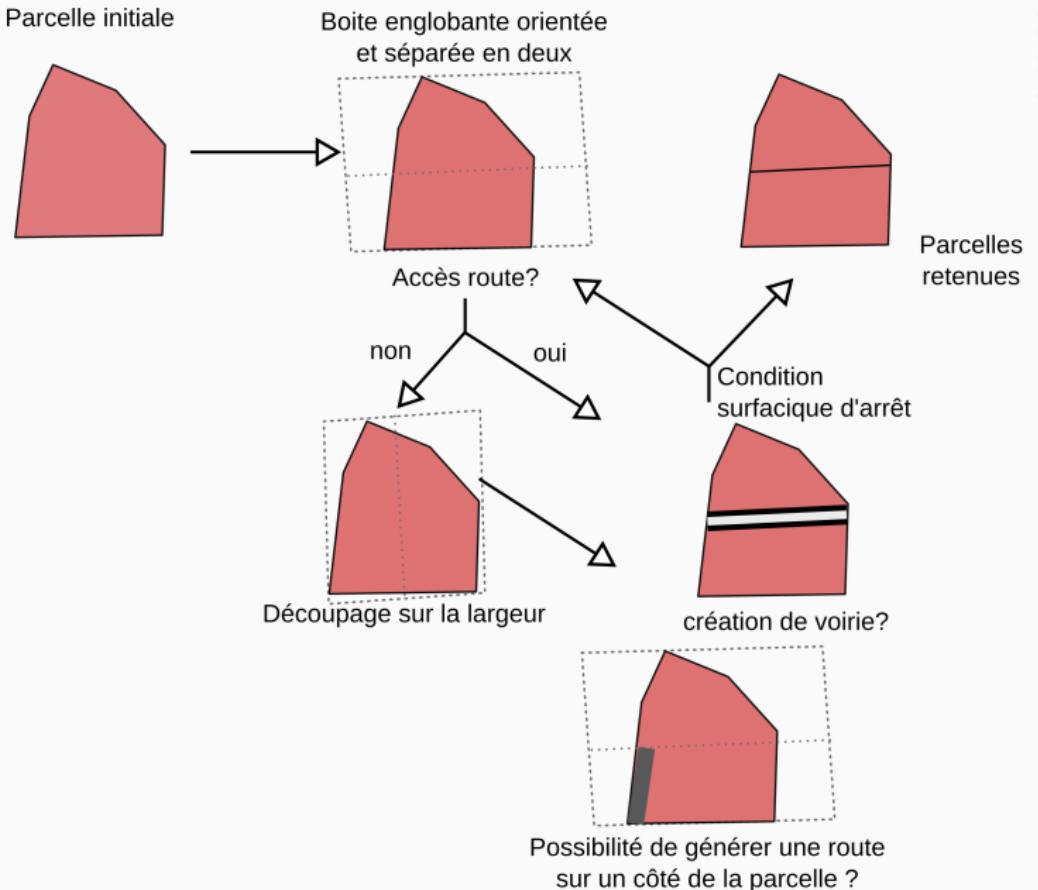
non

oui

Condition surfacique d'arrêt

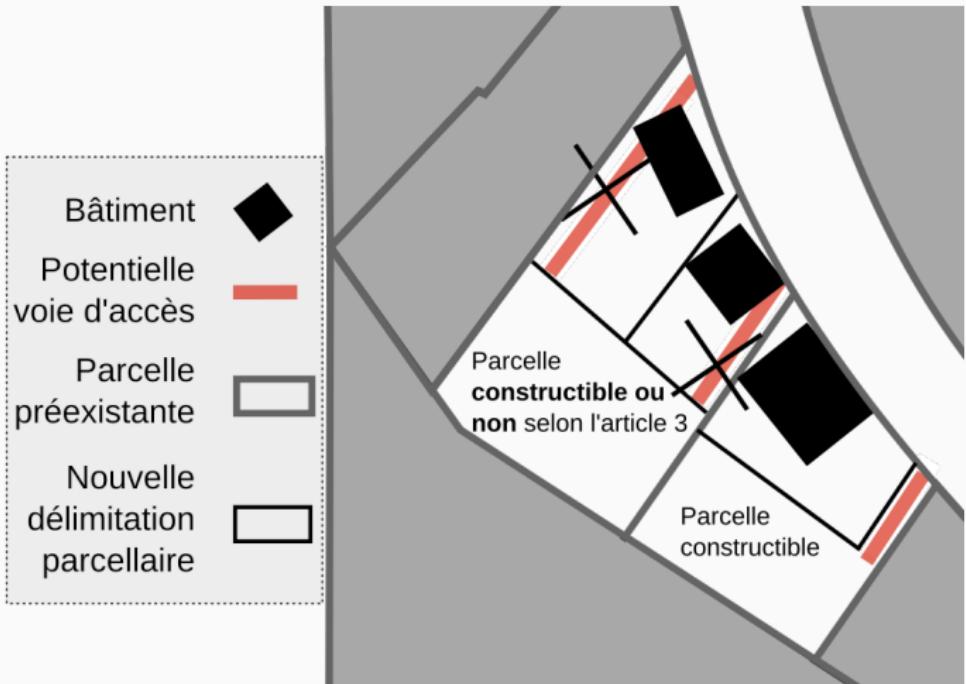
Découpage sur la largeur

Algorithme de découpage parcellaire



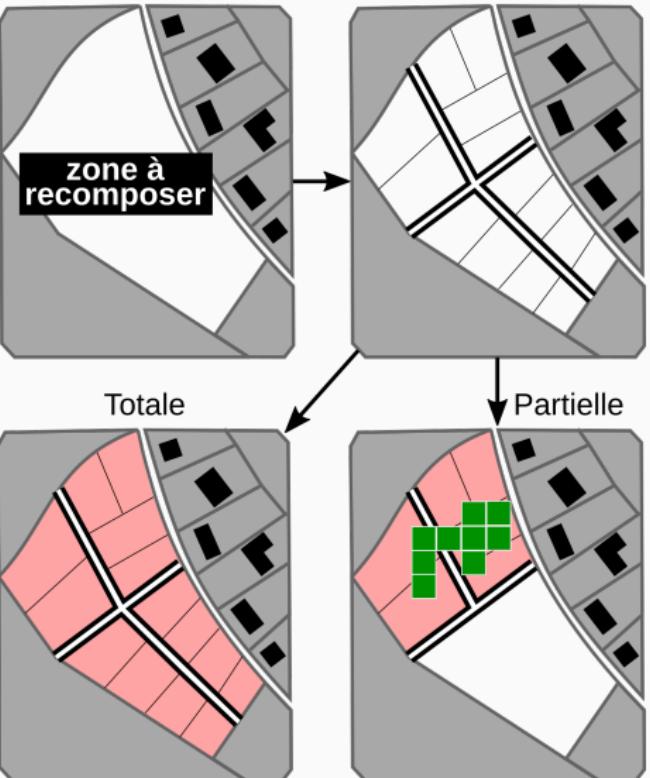
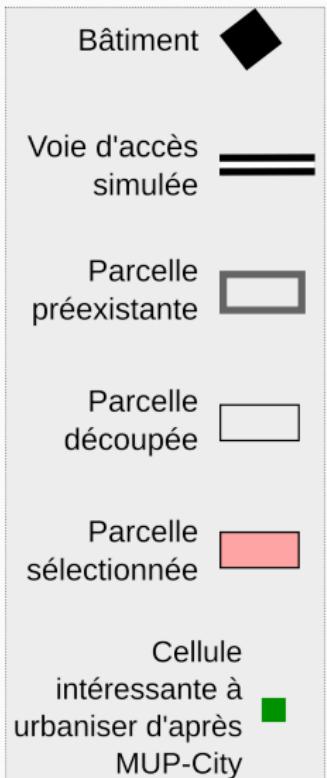
- Densification
- Recomposition parcellaire totale
- Recomposition parcellaire partielle

Densification



- Densification
- Recomposition parcellaire totale
- Recomposition parcellaire partielle

Recomposition parcellaire totale

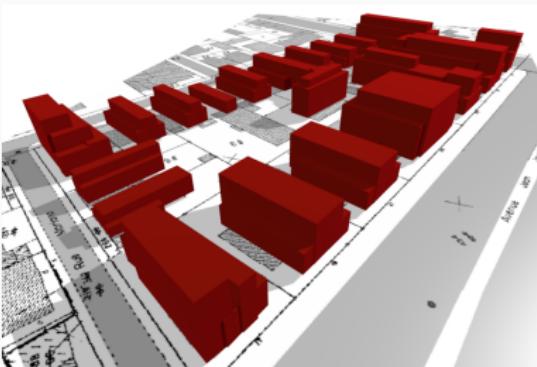


SimPLU3D

SimPLU3D

Génère des configurations bâties en 3D

- Génère un ensemble de bâtiments selon les **contraintes du PLU**
- Optimise certains paramètres afin de poursuivre différents **objectifs de construction**
- Simule le comportement d'agents constructeurs

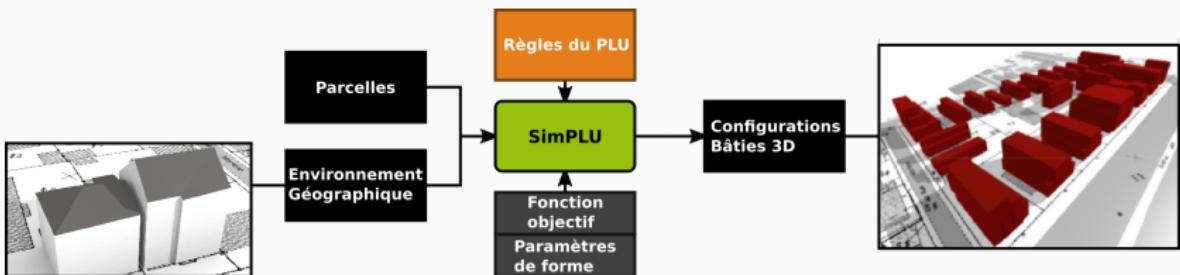


Entrées

- Parcille au sein d'un îlot urbain
- Contraintes paramétriques sur les "boîtes" pour simuler un type de bâtiment prédéfini
- Fonction d'optimisation

Sortie

- Bâtiments en 3D représentant des potentiels constructibles



Contraintes paramétriques sur les “boîtes”

Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique
Conclusion

Adapter la forme des bâtiments simulés aux secteurs
Cinq types de bâtiments définis selon les secteurs :

Maison isolée

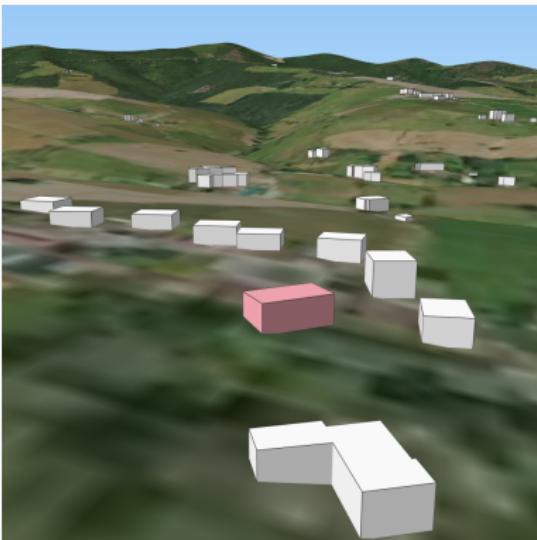


Contraintes paramétriques sur les “boîtes”

Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique
Conclusion

Adapter la forme des bâtiments simulés aux secteurs
Cinq types de bâtiments définis selon les secteurs :

Pavillon de lotissement



Contraintes paramétriques sur les “boîtes”

Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique
Conclusion

Adapter la forme des bâtiments simulés aux secteurs
Cinq types de bâtiments définis selon les secteurs :

Immeuble d'habitat intermédiaire



Contraintes paramétriques sur les “boîtes”

Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique
Conclusion

Adapter la forme des bâtiments simulés aux secteurs
Cinq types de bâtiments définis selon les secteurs :

Petit immeuble collectif



Contraintes paramétriques sur les “boîtes”

Adapter la forme des bâtiments simulés aux secteurs
Cinq types de bâtiments définis selon les secteurs :

Immeuble collectif de taille moyenne



Contrainte d'optimisation des bâtiments

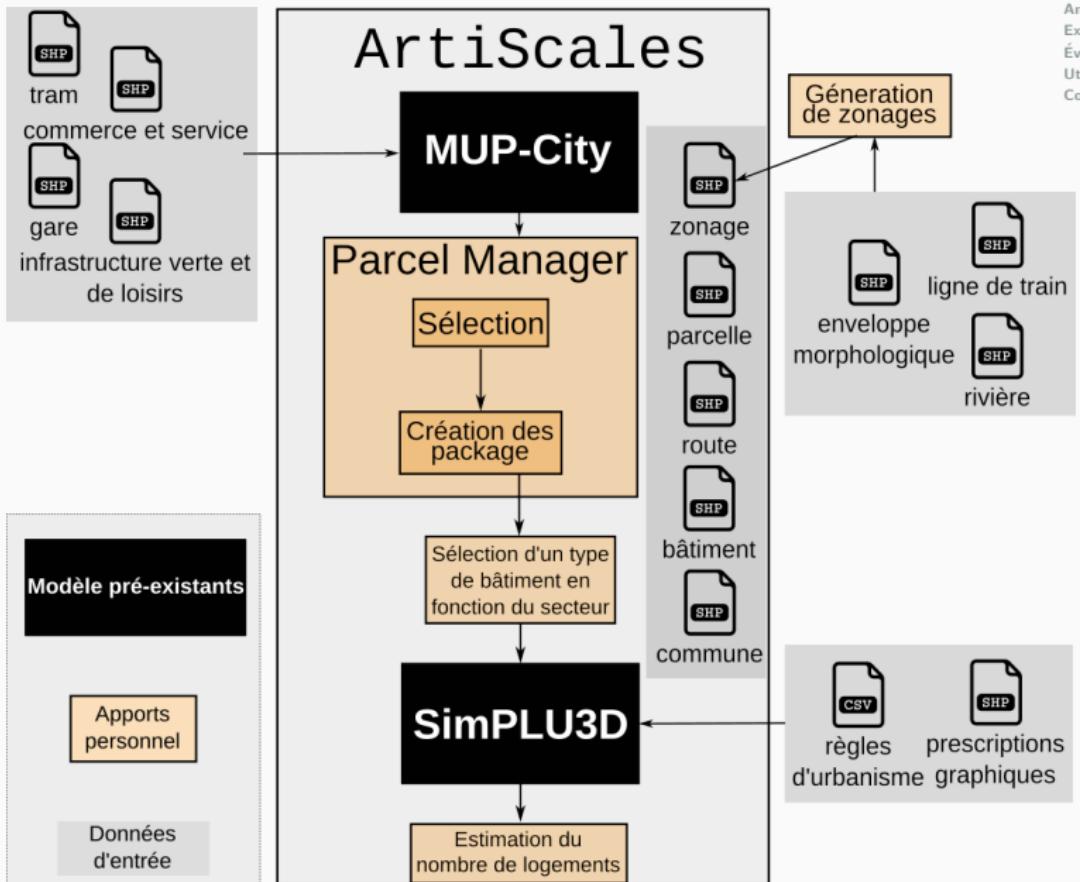
Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique
Conclusion

Optimisation du volume des bâtiments



Apports internes à ArtiScales

Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique
Conclusion



Analyse de variabilité

Principe

Analyser la variation des résultats de simulation d'un modèle
Recherche de la source de cette variabilité

Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique
Conclusion



Principe

Analyser la variation des résultats de simulation d'un modèle

Recherche de la source de cette variabilité

Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation théma
Conclusion

Objectifs

Fiabilité des résultats de simulation

Sélection de **configurations résidentielles** à exploiter



Principe

Analyser la variation des résultats de simulation d'un modèle

Recherche de la source de cette variabilité

Objectifs

Fiabilité des résultats de simulation

Sélection de **configurations résidentielles** à exploiter

Approche

Étude des paramètres dits **techniques**

Étude des paramètres dits **scénaristiques**

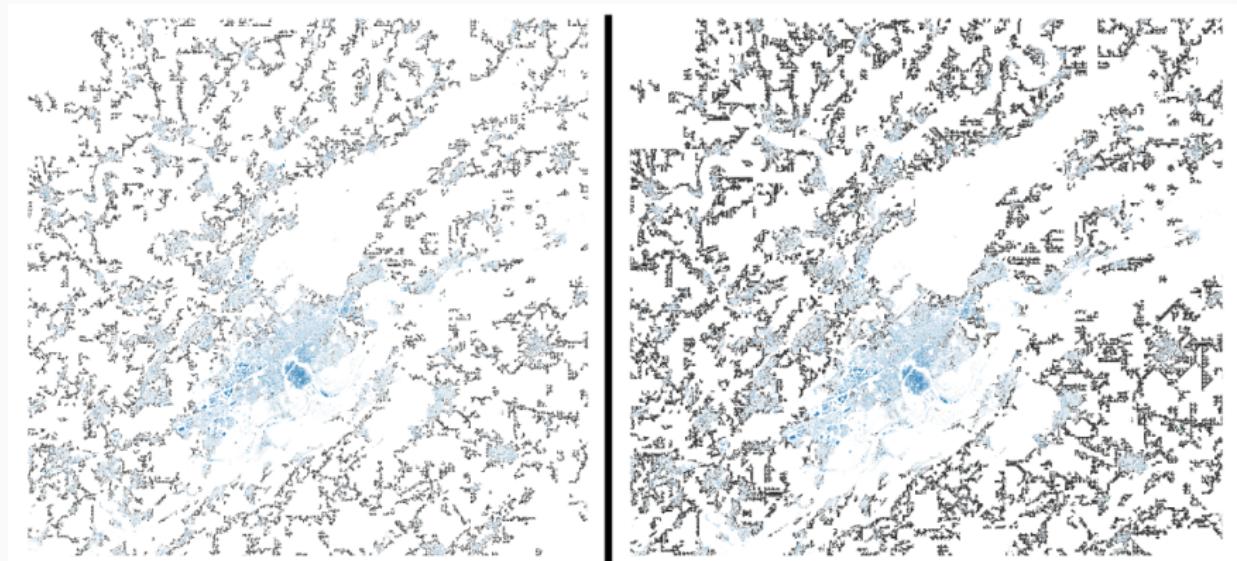


- Intensité du développement résidentiel

MUP-City : intensité du développement résidentiel

Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D

Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique
Conclusion



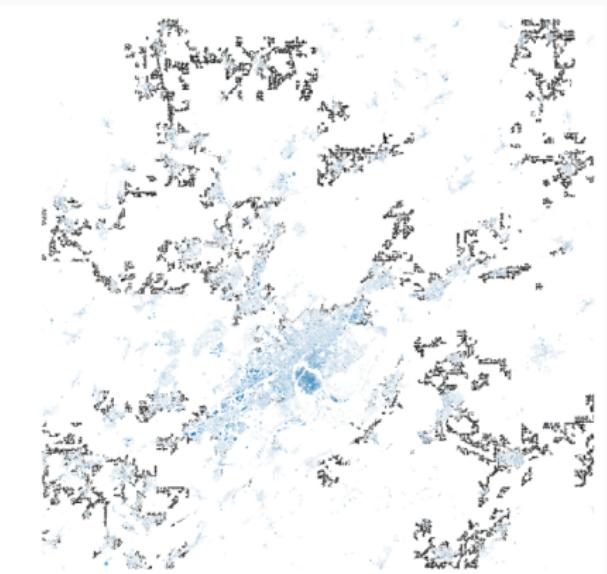
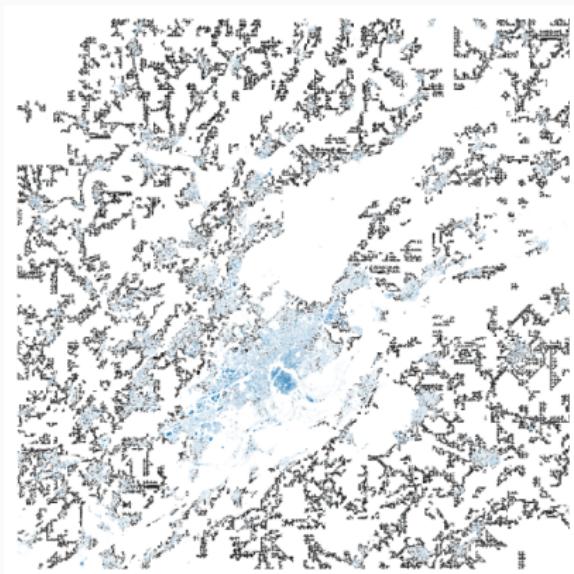
exemples d'un scénario peu dense et un scénario modérément dense

- Intensité du développement résidentiel
- Uniformité du développement résidentiel

MUP-City : uniformité du développement résidentiel

Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D

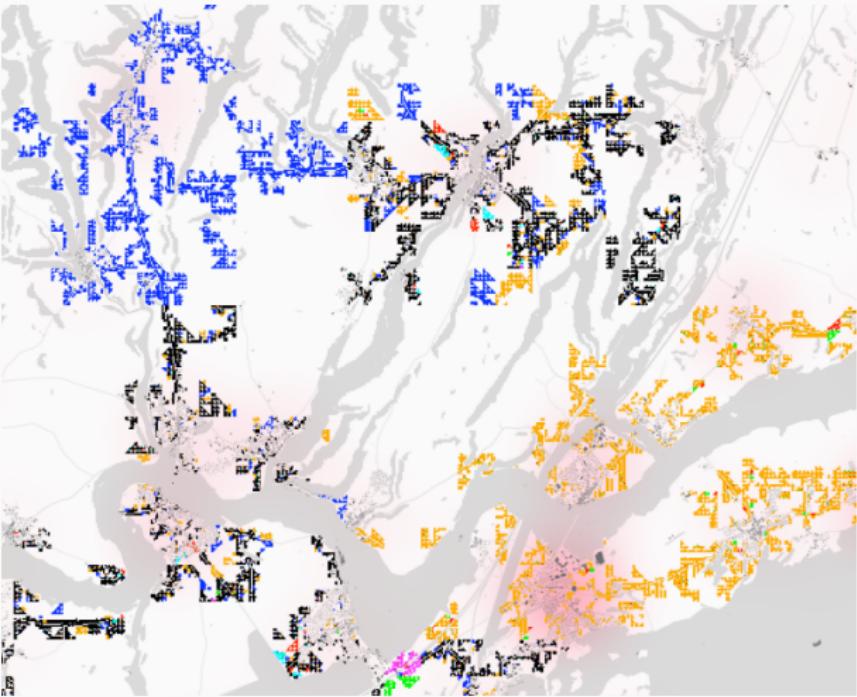
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique
Conclusion



exemples de scénarios uniforme et contrasté

- Intensité du développement résidentiel
- Uniformité du développement résidentiel
- Pondération des règles additionnelles d'aménagement

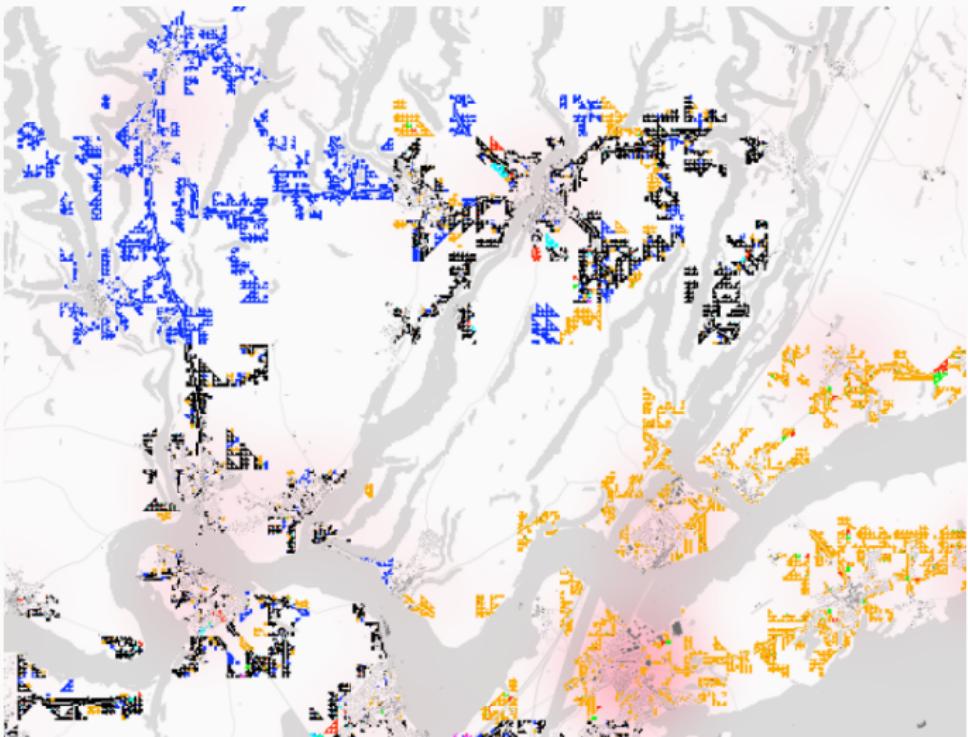
MUP-City : orientation du développement résidentiel



exemple de différentes orientations poursuivis par le développement résidentiel

- Intensité du développement résidentiel
- Uniformité du développement résidentiel
- Pondération des règles additionnelles d'aménagement
- Aggrégation des règles additionnelles d'aménagement

MUP-City : caractère extensif ou non de l'extension résidentielle



Différentes catégories de **paramètres techniques** :

- Graine aléatoire
- Définition et méthode de préparation des jeux de données d'entrée
- Position de la grille de décomposition
- Taille des cellules en sortie

Combinaison de types de paramètres

Pour un scénario au développement résidentiel **uniforme, peu intense et extensif** :

- variable selon la position éloignée de la grille de décomposition
- peu de variabilité provenant des paramètres techniques

Combinaison de types de paramètres

Pour un scénario au développement résidentiel **contrasté, intense et extensif** :

- Potentiellement variables sur de très grandes zones face au **caractère aléatoire**
- Très variable selon la taille des cellules
- variable selon la position éloignée de la grille de décomposition

Combinaison de types de paramètres

Pour un scénario au développement résidentiel **peu extensif** mais **uniforme et très intense** :

- très variable face au **caractère aléatoire**
- localement très sensible à la position de la grille de décomposition

La variation des paramètres d'entrées n'ont pas tous les mêmes effets sur les sorties

Détections d'indicateurs pertinents à optimiser

Conclusion de l'analyse de variabilité

La variation des paramètres d'entrées n'ont pas tous les mêmes effets sur les sorties

Détections d'indicateurs pertinents à optimiser

Plusieurs configurations résidentielles simulées

Différents scénarios de développement résidentiel

Différentes variantes à ces scénarios

Expérimentation

Objectifs de l'expérimentation

- Évaluer le fonctionnement d'ArtiScales
- Vérification de son intérêt pour l'évaluation des documents de planification et d'urbanisme

Objectifs de l'expérimentation

- Évaluer le fonctionnement d'ArtiScales
- Vérification de son intérêt pour l'évaluation des documents de planification et d'urbanisme

Application à la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon (CAGB)

Données d'entrées du modèle : 2012



Deux scénarios de développement résidentiels

- Densité fractale moyenne et permissif quand aux critères d'évaluation (*Scenario c*)
- Forte densité fractale et sévère sur les critères d'évaluation (*Scenario d*)

Deux paramétrages de Parcel Manager et SimPLU3D

- Forte augmentation de la densité
- Augmentation modérée de la densité

Pour ces quatre simulations :

- temps **théorique** sur un ordinateur personnel : **18 jours**
- temps **théorique** sur la grille de calcul européenne : **6 heures**
- temps **constaté** sur la grille européenne : **6 jours**

Évaluation du fonctionnement du modèle

Chiffres généraux (trouver des comparaisons avec la consommation résidentielle d'avant/ de pendant?!)

Table 1: Consommation foncière des différents scénarios

Scenario	c		d	
	forte	modérée	forte	modérée
Paramétrage densité				
Surface de parcelles urbanisée (km^2)	6,267	6,678	3,406	3,859
Surface de parcelles densifiées (km^2)	3,867	4,006	1,174	1,368
Surface de parcelles en extension (km^2)	2,400	2,617	2,232	2,419

Simulation de logements

[Introduction](#)[ArtiScales](#)[MUP-City](#)[Parcel](#)[SimPLU3D](#)[Analyse](#)[Expérimentation](#)[Utilisation](#)[Conclusion](#)[thématique](#)

Table 2: Comparaison de la création de logements mesurée par le SCoT avec les estimations des simulations d'ArtiScales

Typologie de l'armature	Objectif du SCoT sur 25 ans	Nombre de logements produits en 4 ans ¹	pourcentage atteind de l'objectif	scenario d - paramétrage dense	scenario c - paramétrage modérément dense
Ville centre	18 200	2 621	14%	3 192	3 891
Communes périphériques	3 500	505	14%	1 764	1 519
Communes relais	1 250	147	12%	489	331
Communes équipées	600	42	7%	21	102
Halte ferroviaire	2 200	328	15%	948	1 207
Commune hors armature	5 250	1 055	20%	2 718	4 729

¹d'après l'évaluation du SCoT sur la période 2012-2016

Simulation de logements

[Introduction](#)[ArtiScales](#)[MUP-City](#)[Parcel](#)[SimPLU3D](#)[Analyse](#)[Expérimentation](#)[Utilisation](#)[Conclusion](#)[thématique](#)

Table 2: Comparaison de la création de logements mesurée par le SCoT avec les estimations des simulations d'ArtiScales

Typologie de l'armature	Objectif du SCoT sur 25 ans	Nombre de logements produits en 4 ans ¹	pourcentage atteind de l'objectif	scenario d - paramétrage dense	scenario c - paramétrage modérément dense
Ville centre	18 200	2 621	14%	3 192	3 891
Communes périphériques	3 500	505	14%	1 764	1 519
Communes relais	1 250	147	12%	489	331
Communes équipées	600	42	7%	21	102
Halte ferroviaire	2 200	328	15%	948	1 207
Commune hors armature	5 250	1 055	20%	2 718	4 729

De 2012 à 2016, on compte 60% de *renouvellement urbain*

¹d'après l'évaluation du SCoT sur la période 2012-2016

Simulation de logements

[Introduction](#)[ArtiScales](#)[MUP-City](#)[Parcel](#)[SimPLU3D](#)[Analyse](#)[Expérimentation](#)[Utilisation](#)[Conclusion](#)[thématique](#)

Table 2: Comparaison de la création de logements mesurée par le SCoT avec les estimations des simulations d'ArtiScales

Typologie de l'armature	Objectif du SCoT sur 25 ans	Nombre de logements produits en 4 ans ¹	pourcentage atteind de l'objectif	scenario d - paramétrage dense	scenario c - paramétrage modérément dense
Ville centre	18 200 (7 280)	2 621	14%	3 192	3 891
Communes périphériques	3 500 (1 400)	505	14%	1 764	1 519
Communes relais	1 250 (500)	147	12%	489	331
Communes équipées	600 (240)	42	7%	21	102
Halte ferroviaire	2 200 (880)	328	15%	948	1 207
Commune hors armature	5 250 (2 100)	1 055	20%	2 718	4 729

¹d'après l'évaluation du SCoT sur la période 2012-2016

Table 3: Comparaison de la moyenne communale des densités nettes de logements par hectare entre le diagnostic du SCoT et les simulations d'ArtiScales

Typologie de l'armature	Densité moyenne fixée par le SCoT	Densité moyenne observée	Densité moyenne simulée par ArtiScales		
			scenario	d	-
Ville centre	50	60	49,4		56,2
Communes périphériques	23	21	23		16
Communes relais	20	20	21,3		15,6
Communes équipées	15	12	16,8		14,1
Halte ferroviaire	20	18	25,8		16,7
Commune hors armature	13	13	19,3		14,6

Comparaison avec les variantes

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Analyse

Expérimentation

Utilisation

thématique

Conclusion

A faire..

Utilisation thématique des résultats

Compatibilité entre les documents

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Analyse

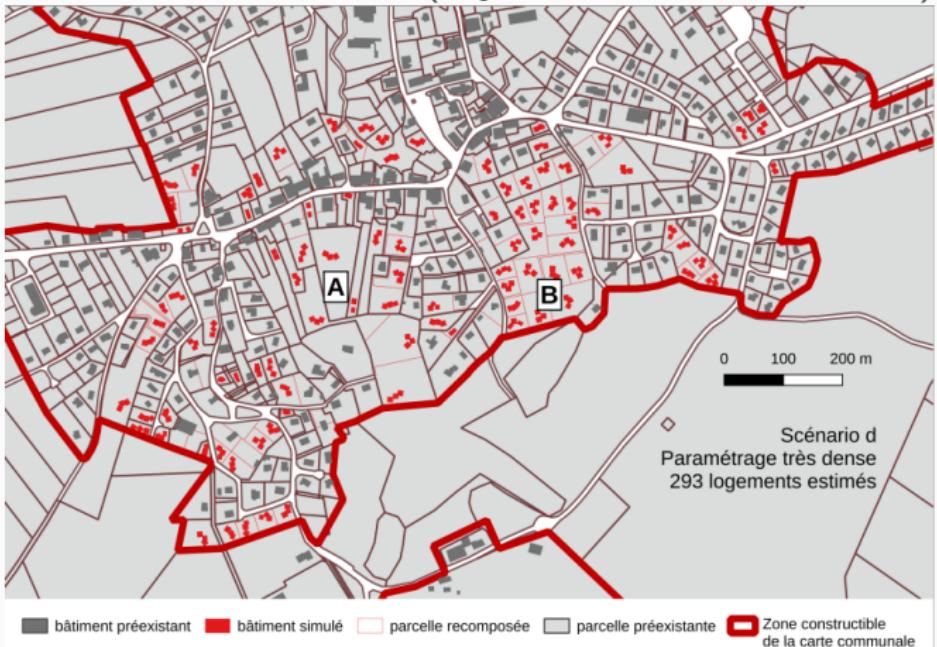
Expérimentation

Évaluation du

fon

Conclusion

Incompatibilité entre les objectifs de création de logements et les documents d'urbanisme (objectifs sur-dimensionnés ?)



Compatibilité entre les documents

Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du fon

Conclusion

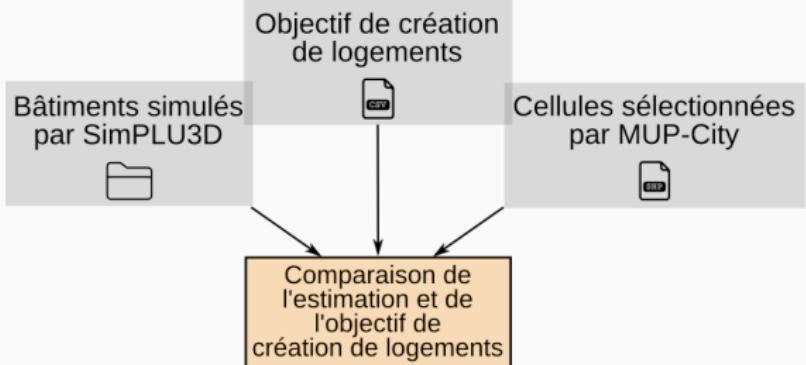
Incompatibilité entre les objectifs de création de logements et les documents d'urbanisme (objectifs sur-dimensionnés ?)
carte d'une commune qui ne peut pas atteindre les objectifs

Incompatibilité entre les objectifs de création de logements et les documents d'urbanisme (objectifs sur-dimensionnés ?)

Possibilité de rétro-action :

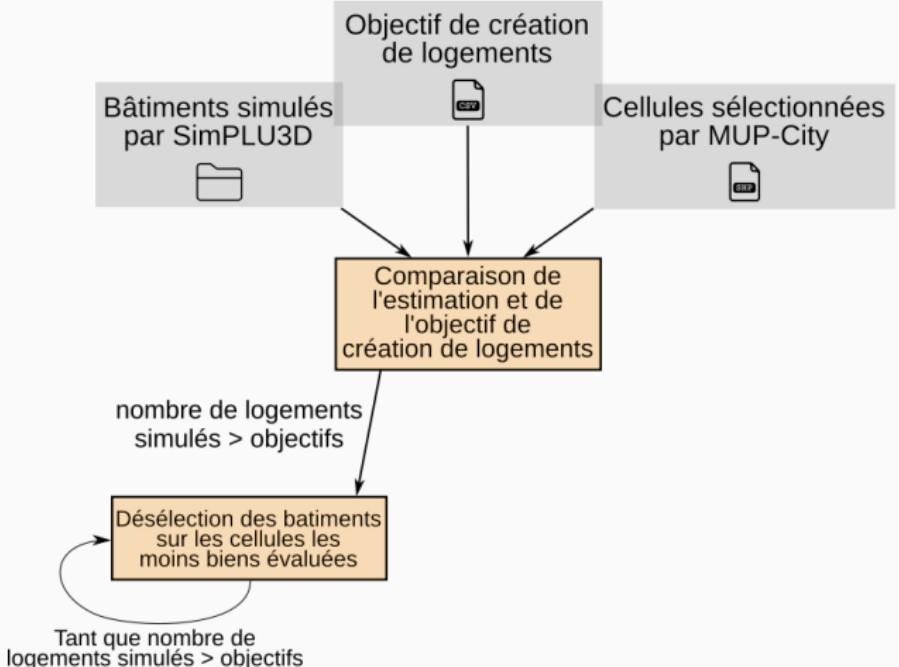
Incompatibilité entre les objectifs de création de logements et les documents d'urbanisme (objectifs sur-dimensionnés ?)

Possibilité de rétro-action :



Incompatibilité entre les objectifs de création de logements et les documents d'urbanisme (objectifs sur-dimensionnés ?)

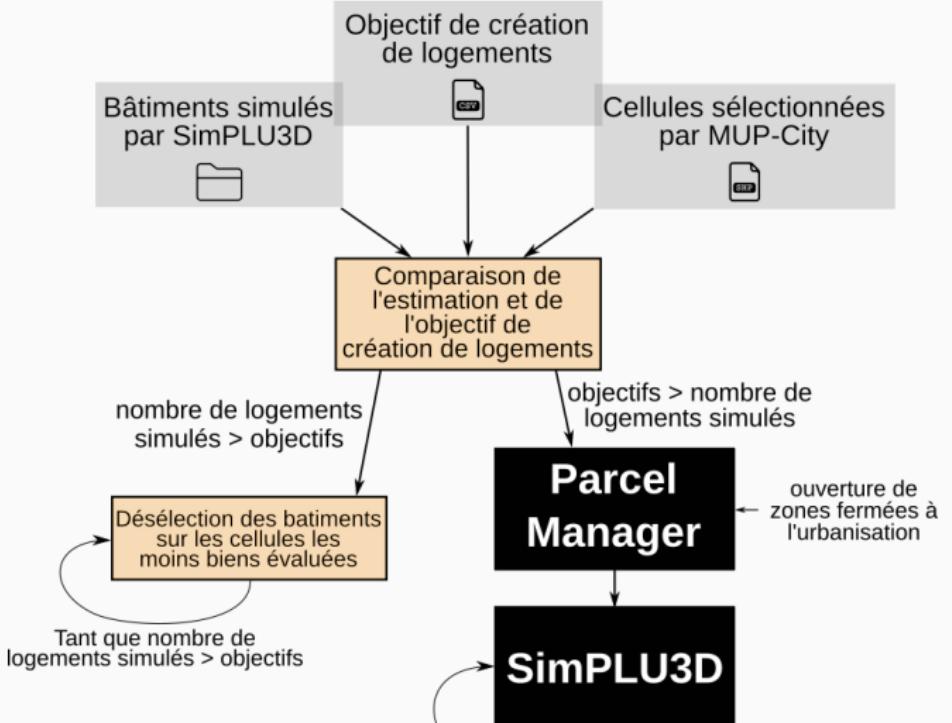
Possibilité de rétro-action :



Compatibilité entre les documents

Incompatibilité entre les objectifs de création de logements et les documents d'urbanisme (objectifs sur-dimensionnés ?)

Possibilité de rétro-action :



Commune sans zonage prédefini \implies ouverture de l'urbanisation dans les *Parties Actuellement Urbanisée (PAU)*

Les communes intéressantes à urbaniser soumises au RNU sont trop ouverte à l'urbanisation

Nécessité d'un zonage

carte d'une telle commune

Conclusion

Couplage des modèles descriptifs/génératifs à un modèle stylisé :
simulateur hybride
Résultats réalistes et plausibles en comparaison avec les évolutions
du territoire

Utilisation de MUP-City

Plus adapté à générer une extension résidentielle

Variabilité intéressante pour proposer différentes

Possibilité de remplacer ce module ?

Utilisation de SimPLU3D

Optimisation de la simulation nécessaire

Étude des paramètres de SimPLU3D

Étude du caractère aléatoire : très faible (*Brasebin, 2014*)

Étude de l'effet des paramètres techniques : potentiellement important (*soulevé par l'expérimentation de la thèse*)

Étude de l'effet des paramètres scénaristiques : (*Chapron, Brasebin, Perret et al. 2017*)

Validation de l'approche d'Artiscales par le service *amenagement* de la CAGB

Validation des résultats de MUP-City grâce à l'évaluation thématique des scénarios

Validation à travailler des paramètres de simulations de SimPLU3D

Tests de validation du Parcel Manager (comparaison OAP, sur l'ensemble de la zone d'étude)

Perspectives de recherche : Prise en compte de nouveaux processus

Introduction
ArtiScales
X-Plan
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation ou
Utilisation du
thématisé

Nouveaux modes de densification (rendre ArtiScales plus opérant en milieu urbain)

Adapter SimPLU3D aux évolutions réglementaires suite aux lois ALUR et ELAN (plus de qualitatif (*performantiel*) grâce à SimPLU3D)

Développer de nouveaux indicateurs pour évaluer les scénarios de développement résidentiels

Perspectives de recherche : Génération automatique de Cartes Communales

Introduction
iScales
Méthodologie
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation ou
Utilisation thématique

Certaines communes n'ont pas de zonages et leur génération pourraient être automatisées :

Perspectives de recherche : Génération automatique de Cartes Communales

Introduction
iScales
Méthodologie
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation ou
Utilisation thématique

Certaines communes n'ont pas de zonages et leur génération pourraient être automatisées :

- enveloppe morphologique de base

Perspectives de recherche : Génération automatique de Cartes Communales

Introduction
iScales
Méthodologie
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation ou
Utilisation thématique

Certaines communes n'ont pas de zonages et leur génération pourraient être automatisées :

- enveloppe morphologique de base
- ajout des parcelles les plus intéressantes à urbaniser

Perspectives de recherche : Génération automatique de Cartes Communales

Certaines communes n'ont pas de zonages et leur génération pourraient être automatisées :

- enveloppe morphologique de base
- ajout des parcelles les plus intéressantes à urbaniser
- respect des densités objectives et des objectifs de création de logements

Perspectives de recherche : Génération automatique de Cartes Communales

Certaines communes n'ont pas de zonages et leur génération pourraient être automatisées :

- enveloppe morphologique de base
- ajout des parcelles les plus intéressantes à urbaniser
- respect des densités objectives et des objectifs de création de logements
- non étalement urbain (respect des parties actuellement urbanisées)

Rendre variable certaines restrictions pour voir comment rendre compatible entre eux les règlements par exemple :

- Zonage (expérimenté dans la thèse)
- articles du PLU (hauteur, retraits)
- Objectifs de création de logements et de densité

Rendre variable certaines restrictions pour voir comment rendre compatible entre eux les règlements par exemple :

- Zonage (expérimenté dans la thèse)
- articles du PLU (hauteur, retraits)
- Objectifs de création de logements et de densité

Mise en œuvre opérationnelle dans le cadre d'un postdoc sur le PLU intercommunal de Besançon

Merci pour votre attention

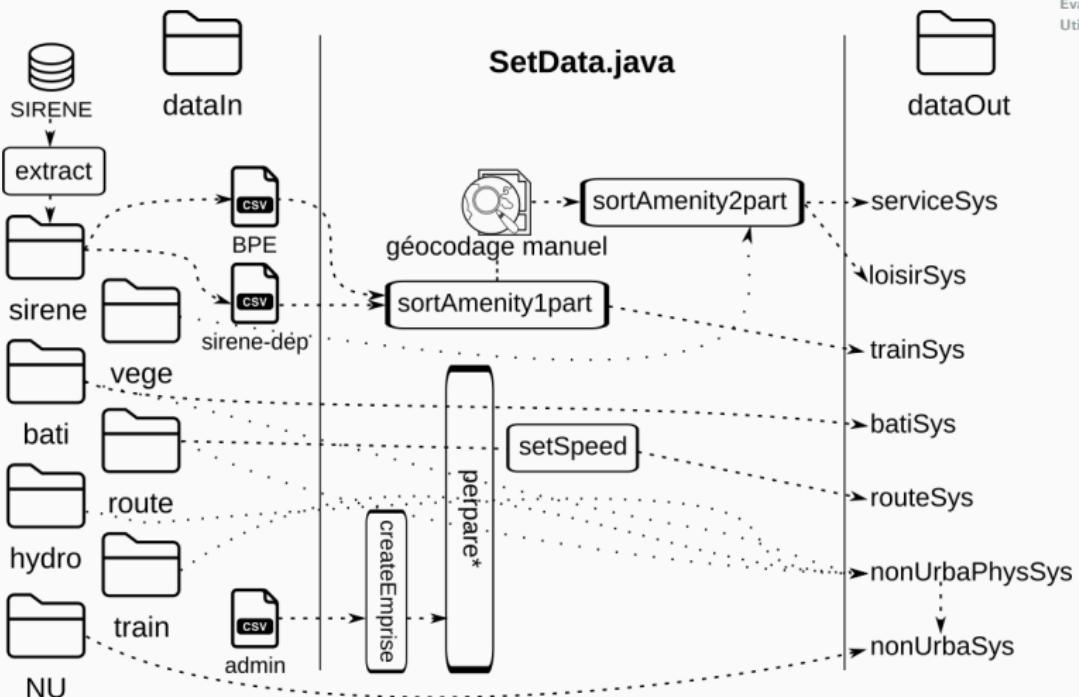
Everything we do is open source

MUP-City: <https://sourcesup.renater.fr/mupcity/>

SimPLU3D: <https://github.com/IGNF/simplu3D>

ArtiScales : <https://github.com/ArtiScales/>

Données nécessaire à l'exécution de MUP-City



Données nécessaire à l'exécution de SimPLU3D

Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique

Le Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT) synchronise les politiques territoriales régionales

- Territorialise la construction de logements
- Fixe des contraintes morphologiques et de densité

Le **Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT)** synchronise les politiques territoriales régionales

- Territorialise la construction de logements
- Fixe des contraintes morphologiques et de densité

Le **Programme Local de l'Habitat (PLH)** fixe la **politique du logement**

- Précise le nombre et le type de logements prévus par communes
- Programme de futures opérations

Le **Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT)** synchronise les politiques territoriales régionales

- Territorialise la construction de logements
- Fixe des contraintes morphologiques et de densité

Le **Programme Local de l'Habitat (PLH)** fixe la **politique du logement**

- Précise le nombre et le type de logements prévus par communes
- Programme de futures opérations

Relation de compatibilité entre ces deux documents

Documents de planification régionale - Exemple

Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique

Légende

Emprise du SCoT

Nombre de logements prévus par le SCoT

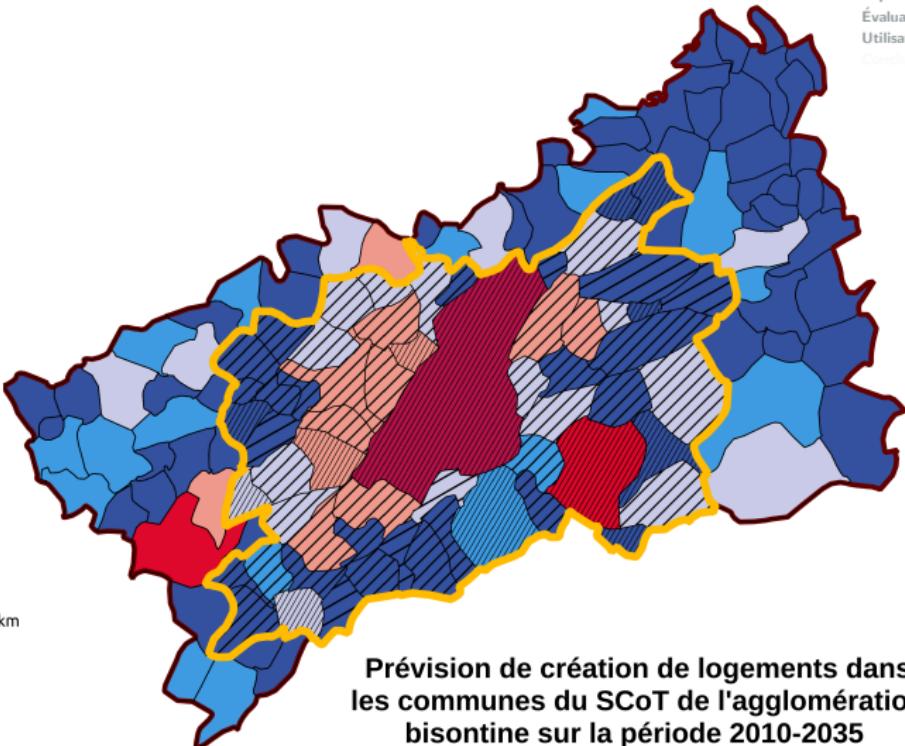
- [Dark Blue] 3 - 63
- [Light Blue] 63 - 163
- [Light Purple] 163 - 275
- [Orange] 275 - 400
- [Red] 400 - 1138
- [Maroon] 18625

Emprise du PLH

Logements à construire par un acteur public dans le PLH

- [Diagonal lines] 0% - 25%
- [Vertical lines] 25% - 35%
- [Horizontal lines] 35% - 50%

0 5 10 km



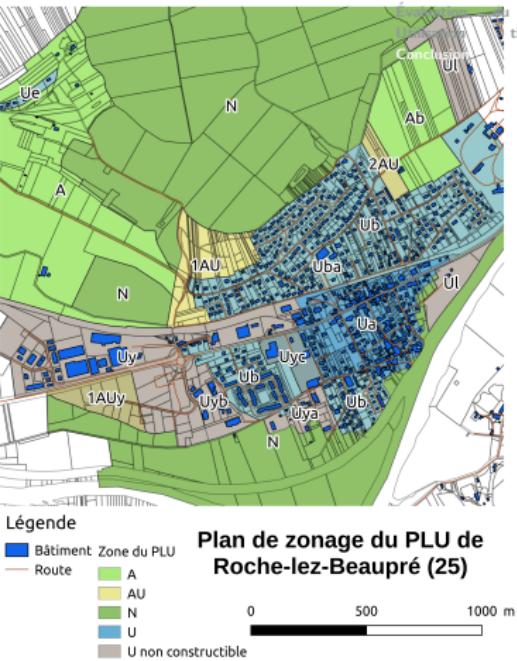
Le **Plan Local de l'Urbanisme (PLU)** détaille et spatialise les contraintes de constructibilité au sein d'une commune

- a des **effets directs sur la constructibilité** mais ne planifie pas la construction
- **donne un cadre** pour la création de programmes de construction de logements (*OAP, ZAC, ZAD*)
- se compose en partie d'un **zonage** et d'un **règlement**

Application d'un PLU - Le zonage

Zones générales et sous-zones particulières

- **Naturelles (N) non constructibles**
- **Agricoles (A) non constructibles**
- **Urbanisées (U)**
- **À Urbaniser (AU)**



Rétro action pour la compatibilité en modifiant le zonage

Introduction

ArtiScales

SLUP-City

Parcel

SimPLU3D

Analyse

Expérimentation

Évaluation du fon

Utilisation thématique

Application d'un PLU - Le règlement

Pour chaque sous-zone :

- 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**



Exemple de prescriptions graphiques (PLU de Strasbourg)

Comparaison d'OAP et des résultats de simulation

Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique

Orientations d'Aménagement et de Programmation :

Définition de l'organisation pour l'urbanisation de certaines zones.

Comparaison d'OAP et des résultats de simulation

Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique

Table 4: Comparaison de la simulation utilisant le scénario **c** et un paramétrage induisant une *forte densité* avec les objectifs de création de logements dans les OAP de Saône (25532)

Nom de la zone	Petite Saône	La Messarde	Au Cras	La Gilleroye
Objectif de création de logements	9	62	24	219
Estimation d'ArtiScales	7	54	16	151
Ressemblance des plans	non	oui	oui	non

Comparaison d'OAP et des résultats de simulation

Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique

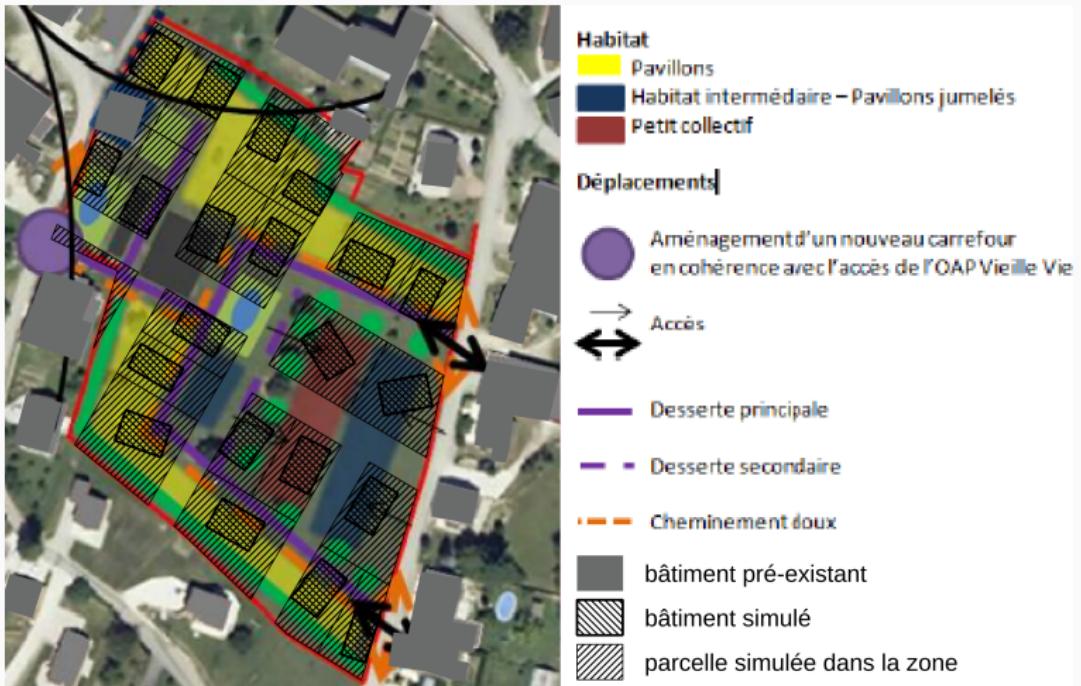


Illustration superposant l'OAP du *Champ Sera à La Tour De Say* (25640) et les résultats de la simulation provenant du scénario c avec le paramétrage induisant une forte densité

pas sur d'en parler si ? min/max sur les quatre scénarios des tableaux et cartes pour situer ces différences

Neuf variantes de développement résidentiels

Deux réPLICATIONS de la modification des paramètres techniques :

- graine aléatoire
- taille des cellules
- petits mouvements de la grille de décomposition
- grands mouvements de la grille de décomposition

- Définition de données adaptées à la simulation des évolutions
- Proposition de service aux acteurs de la planification sur l'ensemble du territoire français
- Certification de la robustesse du processus de simulation relativement à la qualité des données