

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

2019-09-20

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



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

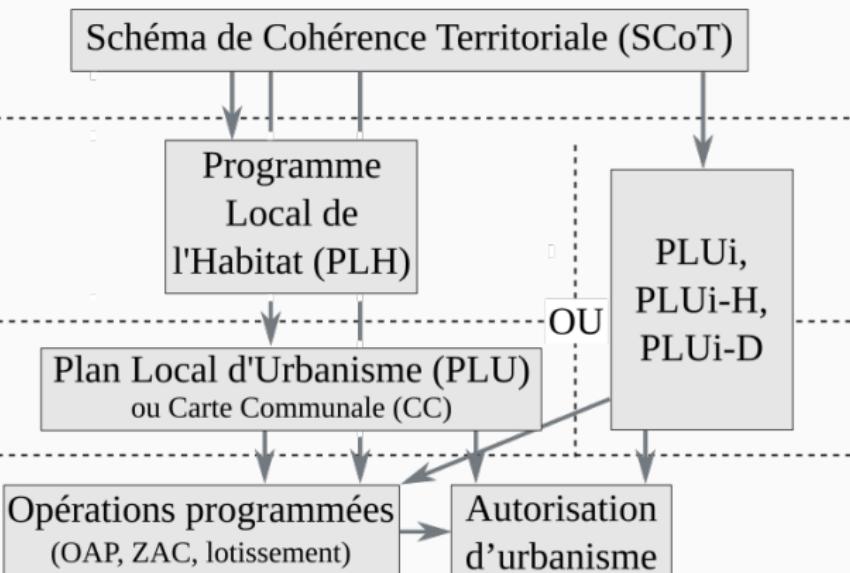
Échelle du bassin
de vie

Échelle inter-
communale

Échelle
communale

Échelle parcellaire

Document d'aménagement



Différents types de contraintes réglementaires

Type de contrainte Échelle	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	

Enjeux : compatibilité/conformité des documents d'urbanisme

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

Enjeux : compatibilité/conformité des documents d'urbanisme

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

Représenter l'articulation entre les différents documents de planification et d'urbanisme grâce à un modèle de simulation afin de tester la combinaison des différentes règles et contraintes d'aménagements

Le contenu de la modélisation

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

- Simuler le développement résidentiel à différents niveaux d'échelles et selon plusieurs contraintes

Le contenu de la modélisation

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

- Simuler le développement résidentiel à différents niveaux d'échelles et selon plusieurs contraintes
- Exprimer divers critères d'évaluation de la planification :

Le contenu de la modélisation

- Stimuler le développement résidentiel à différents niveaux d'échelles et selon plusieurs contraintes
- Exprimer divers critères d'évaluation de la planification :
 - La création de logements

Le contenu de la modélisation

Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D

Analyse
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation
Conclusion

- Stimuler le développement résidentiel à différents niveaux d'échelles et selon plusieurs contraintes
- Exprimer divers critères d'évaluation de la planification :
 - La création de logements
 - La densité de logements par hectare

- Stimuler le développement résidentiel à différents niveaux d'échelles et selon plusieurs contraintes
- Exprimer divers critères d'évaluation de la planification :
 - La création de logements
 - La densité de logements par hectare
 - L'accessibilité (aux transports en communs, ...)

Le contenu de la modélisation

- Simuler le développement résidentiel à différents niveaux d'échelles et selon plusieurs contraintes
- Exprimer divers critères d'évaluation de la planification :
 - 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

Le contenu de la modélisation

- Simuler le développement résidentiel à différents niveaux d'échelles et selon plusieurs contraintes
- Exprimer divers critères d'évaluation de la planification :
 - 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**

Les outils d'aide à la décision pour l'aménagement à visée prospective

Objectifs

Modélise **un ou plusieurs phénomènes** réels

Simule l'état du système étudié face à ce(s) phénomène(s)

Les outils d'aide à la décision pour l'aménagement à visée prospective

Objectifs

Modélise **un ou plusieurs phénomènes** réels

Simule l'état du système étudié face à ce(s) phénomène(s)

Utilisations

Permettre de comparer plusieurs **scénario**

Représenter des futurs potentiels, recherchés, redoutés Utilisation en tant qu'**outil** pour l'**aide** à la conception de documents

Les outils d'aide à la décision pour l'aménagement à visée prospective

Objectifs

Modélise **un ou plusieurs phénomènes** réels

Simule l'état du système étudié face à ce(s) phénomène(s)

Utilisations

Permettre de comparer plusieurs **scénario**

Représenter des futurs potentiels, recherchés, redoutés Utilisation en tant qu'**outil** pour l'**aide** à la conception de documents

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
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique
Conclusion

Modèle d'aide à la décision multi-critères (ref) 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
Validation
Conclusion
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation théma
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
Validation
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
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
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thémat
Conclusion

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

- Peu adapté à représenter la complexité des mécanismes multi-échelles d'un développement résidentiel
- Résultats dépendants principalement du marché et non des objectifs de la planification

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

Introduction
ArtiScales
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation théma
Conclusion

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

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

Introduction
ArtiScales
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique
Conclusion

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

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

Introduction
ArtiScales
Scales
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
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 stylisés

Introduction
ArtiScales
Scales
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
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 stylisés

Introduction
ArtiScales
Scales
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
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 stylisés

Introduction
ArtiScales
Scales
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
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 stylisés

Introduction
ArtiScales
Scales
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique
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 intégrés de développement résidentiel

Introduction
MultiScales
IMP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
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 ...)
- Articule différents systèmes modélisés
- Approche prospectives

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

Introduction
MultiScales
IMP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
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
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
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 **differentes échelles**

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

Introduction
ArtiScales
Géotools
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation théma
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
Validation
Conclusion
Validation
Expérimentation
Évaluation du foncier
Utilisation thématique

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
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique
Conclusion

Génération de bâtiments

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

Problématique

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Analyse

Validation

du

Validation

Expérimentation

Évaluation du fon

Utilisation

théma

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

Comment **simuler** le **développement résidentiel** d'une région urbaine à un niveau **très détaillé**, afin d'identifier et d'explorer 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)
- multi-constraint (reprsentant diffrents mécanismes et objectifs)
- ouvert (vérifiable et reproductible)

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)
- multi-constraint (représentant différents mécanismes et objectifs)
- ouvert (vérifiable et reproductible)

Développement d'un nouvel outil d'aide à la décision dans l'aménagement, couplant différentes approches : **ArtiScales**

Plan de la présentation

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

- Présentation d'**ArtiScales**
- Présentation des **modules** d'ArtiScales
- **Analyse et validation** 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

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

SimPLU3D

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

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

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

Parcelle d'entrée

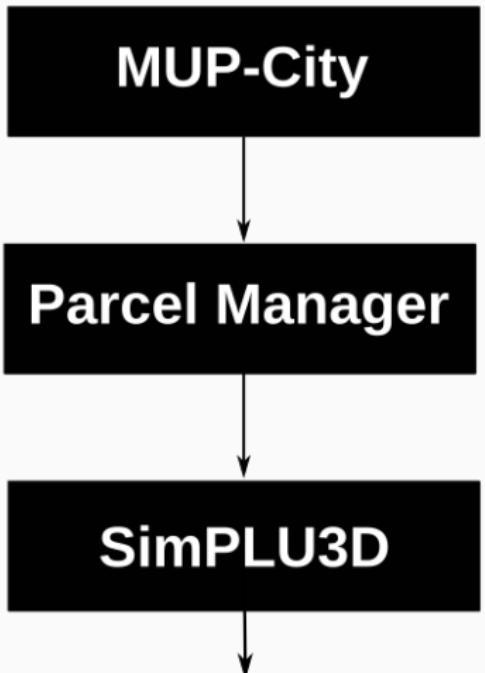
SimPLU3D

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

MUP-City

MUP-City : principes et objectifs

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Analyse

Validation

Validation

Expérimentation

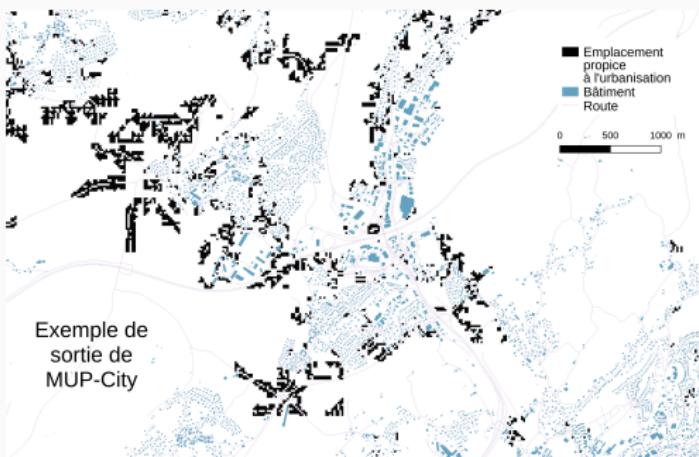
Évaluation du fon

Utilisation

Conclusion



- Propose une **organisation spatiale locale** de développement résidentiel pour une **région urbaine**



MUP-City : principes et objectifs

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Analyse

Validation

Validation

Expérimentation

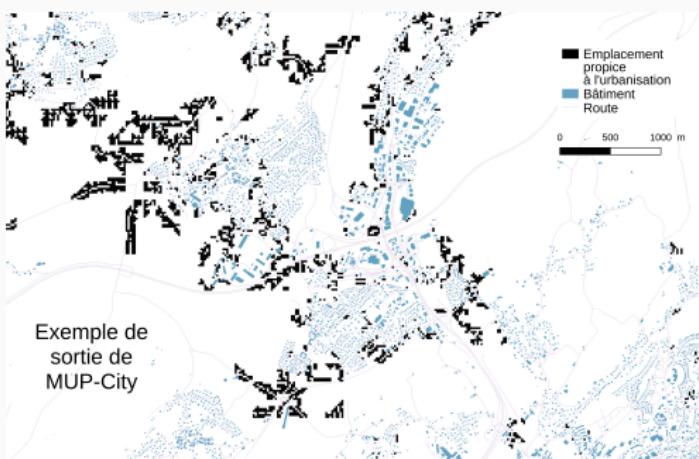
Évaluation du fon

Utilisation

Conclusion



- Propose une **organisation spatiale locale** de développement résidentiel pour une **région urbaine**
 - organisation fractale



MUP-City : principes et objectifs

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Analyse

Validation

Validation

Expérimentation

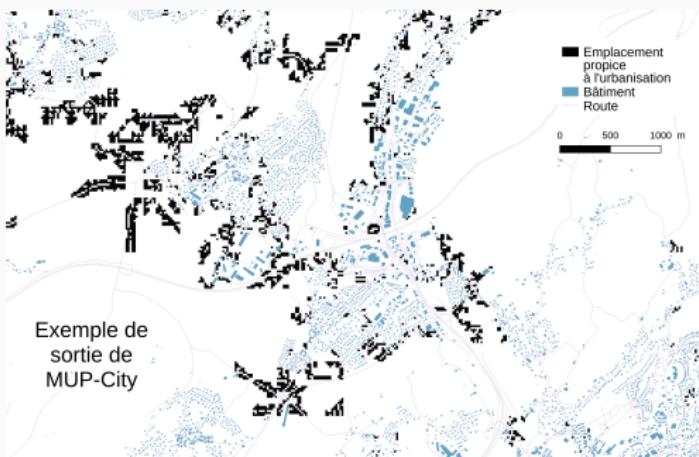
Évaluation du fon

Utilisation

Conclusion



- Propose une **organisation spatiale locale** de développement résidentiel pour une **région urbaine**
 - organisation fractale
 - accessibilité à divers aménités

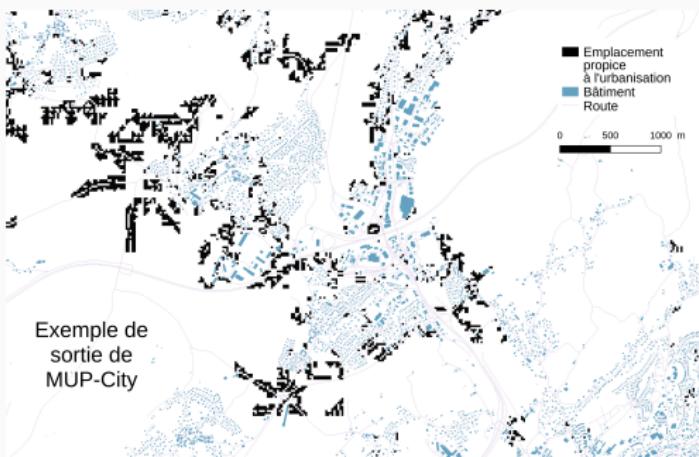


MUP-City : principes et objectifs

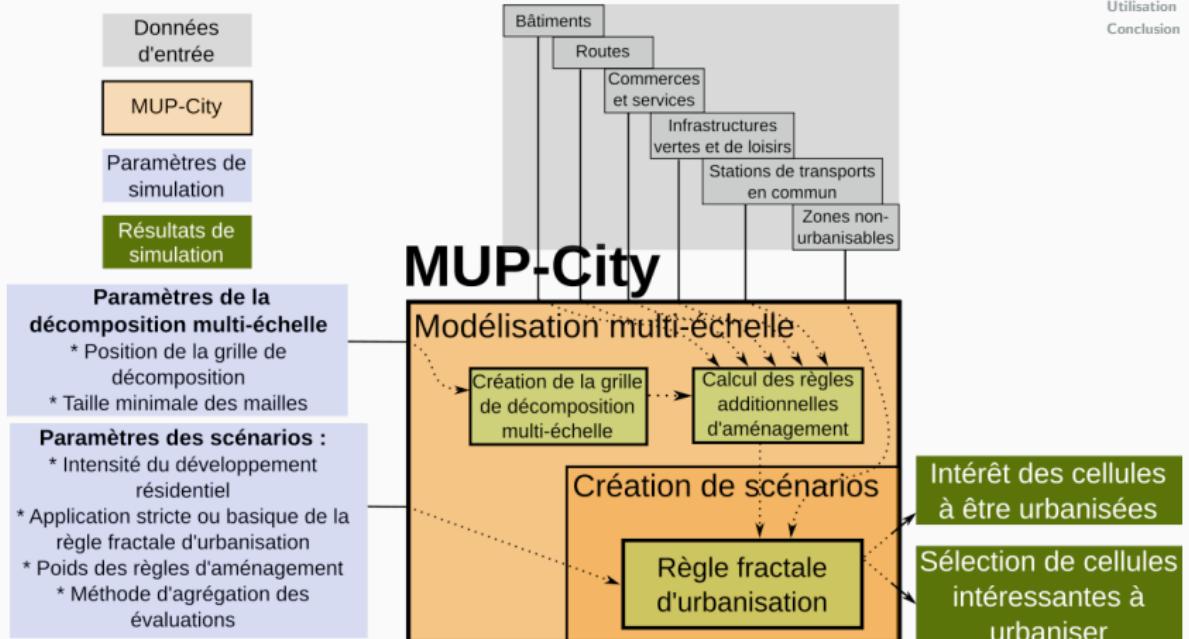
Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation
Conclusion
thématis



- Propose une **organisation spatiale locale** de développement résidentiel pour une **région urbaine**
 - organisation fractale
 - accessibilité à divers aménités
- Multiples paramètres représentent différentes **orientations d'aménagement**



MUP-City: fonctionnement



Parcel Manager

Présentation du modèle

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Analyse

Validation

Validation

Expérimentation

Évaluation du fon

Utilisation

Conclusion

MUP-City

Cellules
sélectionnées

Parcel Manager



Présentation du modèle

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Analyse

Validation

Validation

Expérimentation

Evaluation

du fon

Utilisation

Conclusion

MUP-City

Cellules
sélectionnées

Parcel Manager

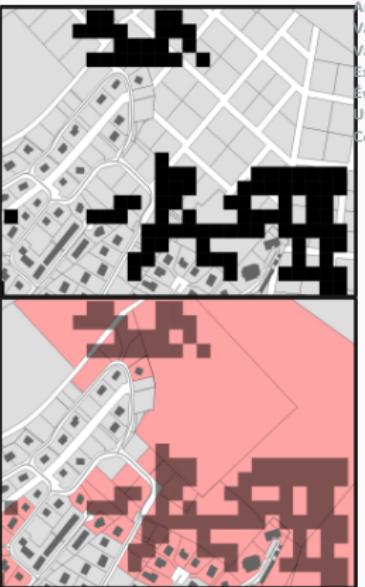
Sélection

Sélection des parcelles en
fonction de :

Zonage

Cellules

Bâtiments présents
sur la parcelle



Présentation du modèle

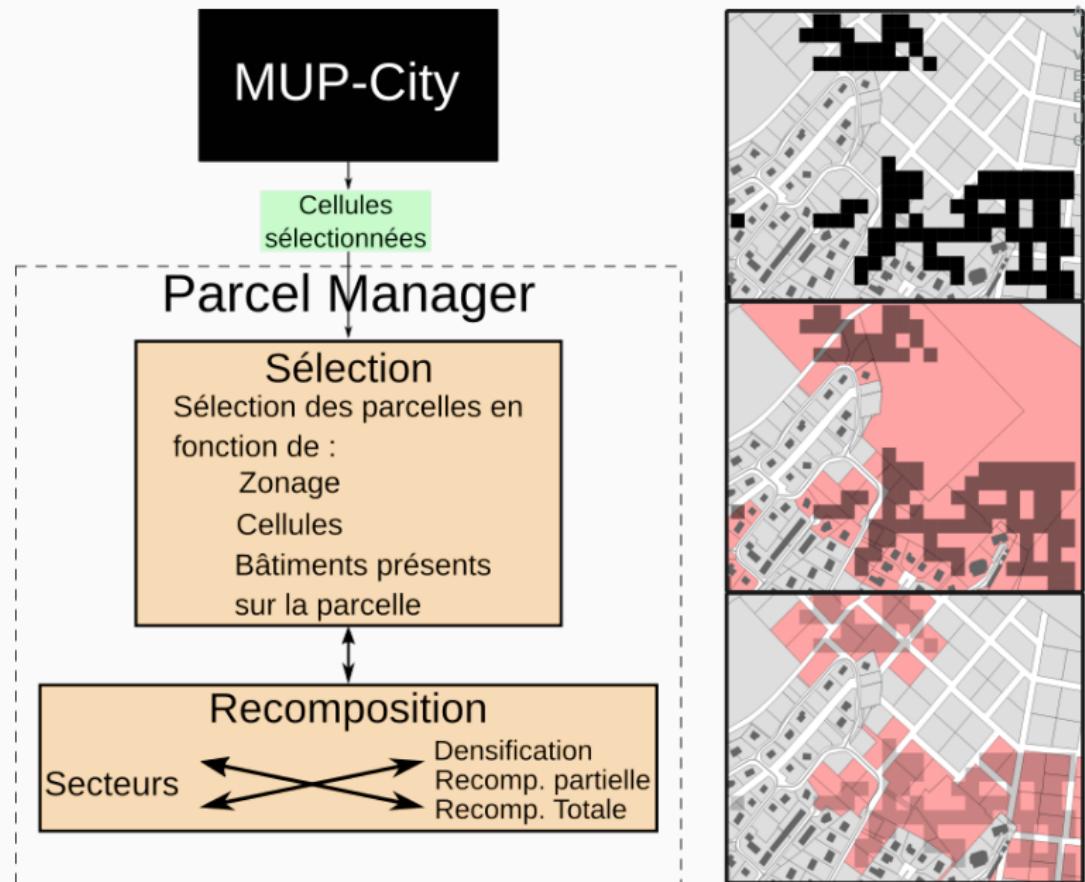
Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D



Algorithme de découpage parcellaire

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Analyse

Validation

Validation

Expérimentation

Évaluation du fon

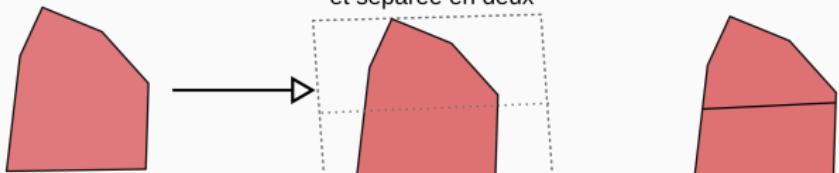
Utilisation

Conclusion

adapté de Vannegas, 2012

Parcelle initiale

Boîte englobante orientée et séparée en deux



Parcelles retenues

Accès route?

non

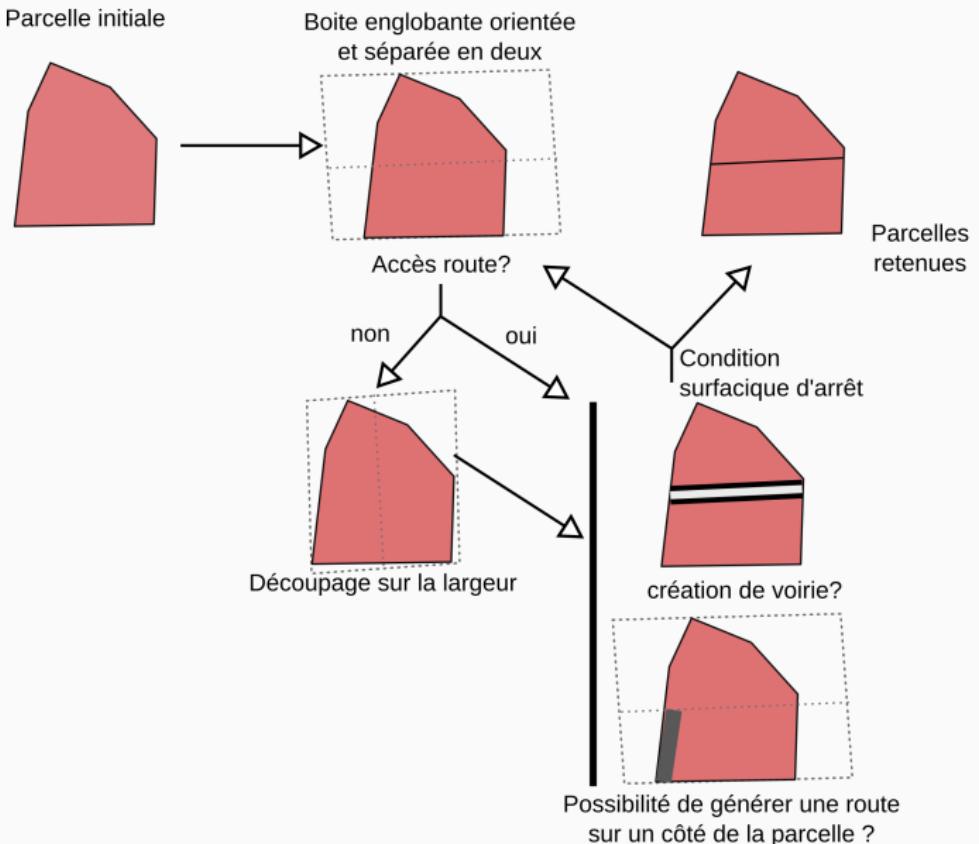
oui

Condition surfacique d'arrêt

Découpage sur la largeur



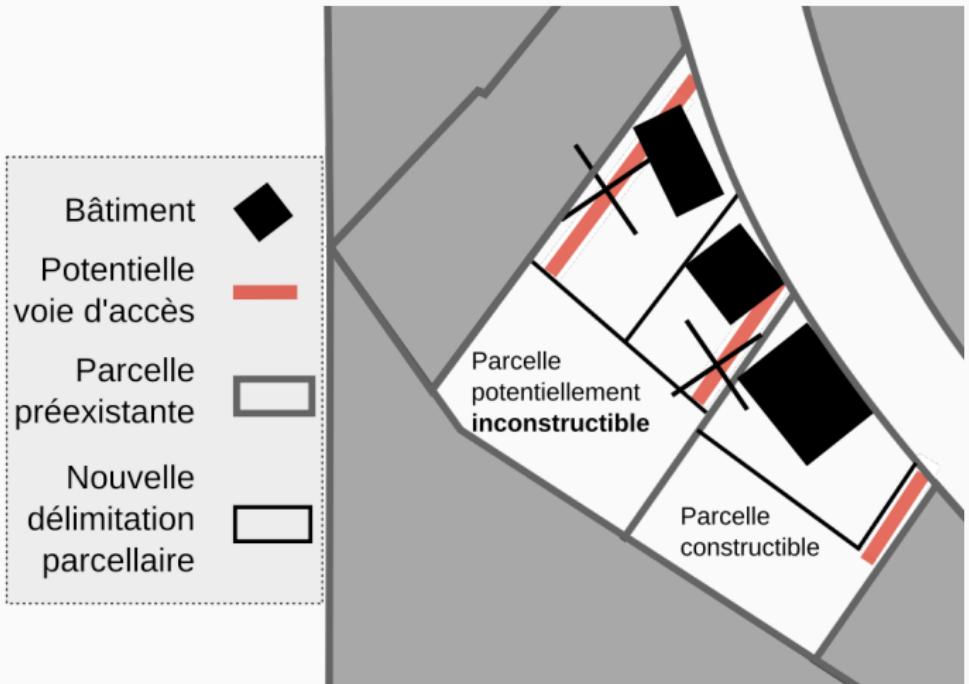
Algorithme de découpage parcellaire



- Densification
- Recomposition parcellaire totale
- Recomposition parcellaire partielle

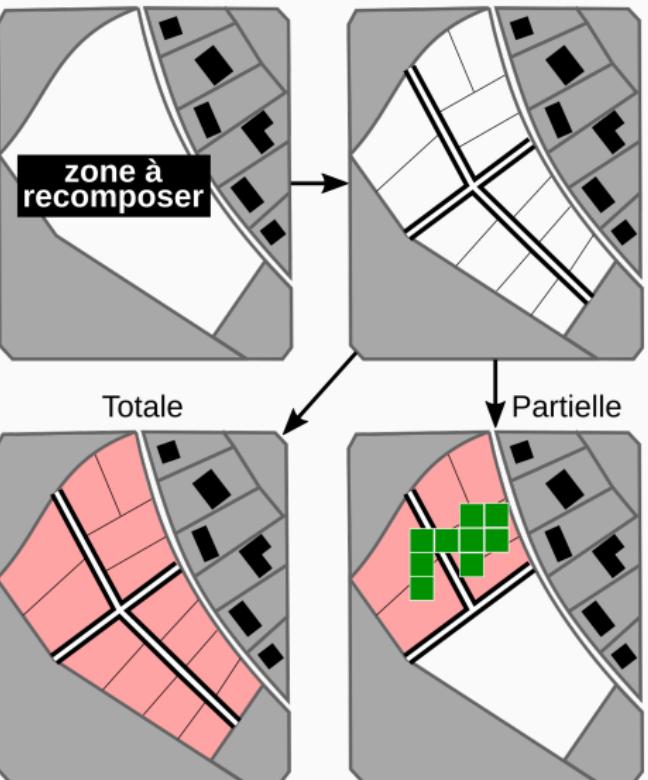
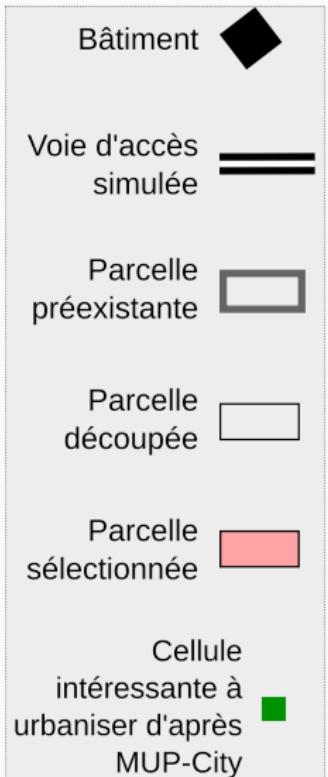
Densification

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



- Densification
- Recomposition parcellaire totale
- Recomposition parcellaire partielle

Recomposition parcellaire totale

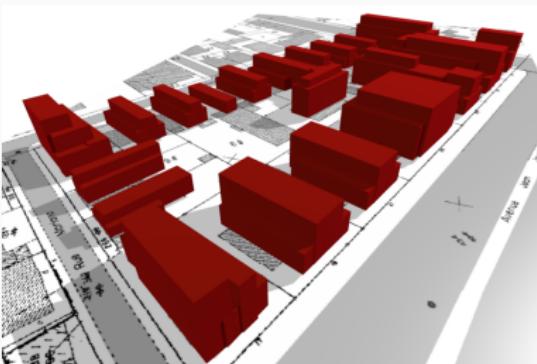


SimPLU3D

SimPLU3D

Génère des configurations bâties en 3D

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



Contraintes paramétriques sur les “boîtes”

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Analyse

Validation

Validation

Expérimentation

Évaluation du fon

Utilisation

Conclusion

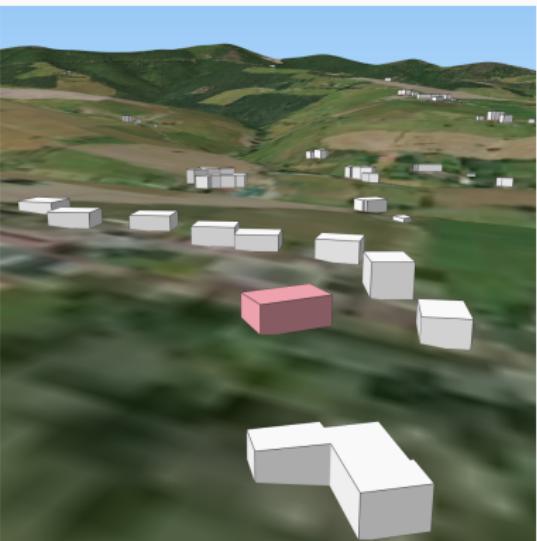
Adapter la **forme des bâtiments** simulés aux secteurs
Cinq types de bâtiments proposés :

Maison isolée



Adapter la **forme des bâtiments** simulés aux secteurs
Cinq types de bâtiments proposés :

Pavillon de lotissement



Adapter la **forme des bâtiments** simulés aux secteurs
Cinq types de bâtiments proposés :

Immeuble d'habitat intermédiaire



Contraintes paramétriques sur les “boîtes”

Adapter la **forme des bâtiments** simulés aux secteurs
Cinq types de bâtiments proposés :

Petit immeuble collectif



Contraintes paramétriques sur les “boîtes”

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Analyse

Validation

Validation

Expérimentation

Évaluation du fon

Utilisation

Conclusion

Adapter la **forme des bâtiments** simulés aux secteurs
Cinq types de bâtiments proposés :

Immeuble collectif de taille moyenne



Optimisation du volume des bâtiments



Apports internes à ArtiScales

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Analyse

Validation

Validation

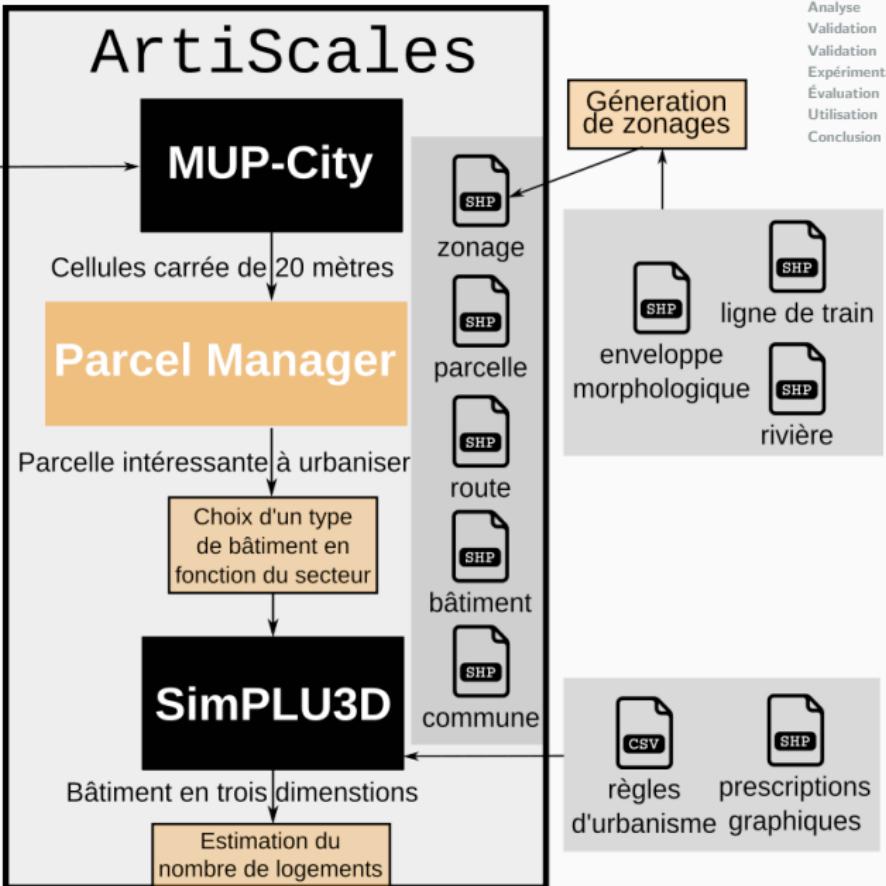
Expérimentation

Évaluation

du fon

thématis

Conclusion



Analyse de variabilité

Les résultats de simulations de MUP-City sont très variables (Tannier 2012, Fremont 2015)



exemple de variation stochastique des sorties de MUP-City

Les résultats de simulations de MUP-City sont très variables (Tannier 2012, Fremont 2015)

Analyse de variabilité

Les résultats de simulations de MUP-City sont très variables (Tannier 2012, Fremont 2015)

Analyse de variabilité

Principe

Analyser la variation des résultats de simulation d'un modèle

Recherche de la source de cette variabilité

Les résultats de simulations de MUP-City sont très variables (Tannier 2012, Fremont 2015)

Analyse de variabilité

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

Les résultats de simulations de MUP-City sont très variables (Tannier 2012, Fremont 2015)

Analyse de variabilité

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**

MUP-City: analyse de variabilité - Paramètres scénaristiques

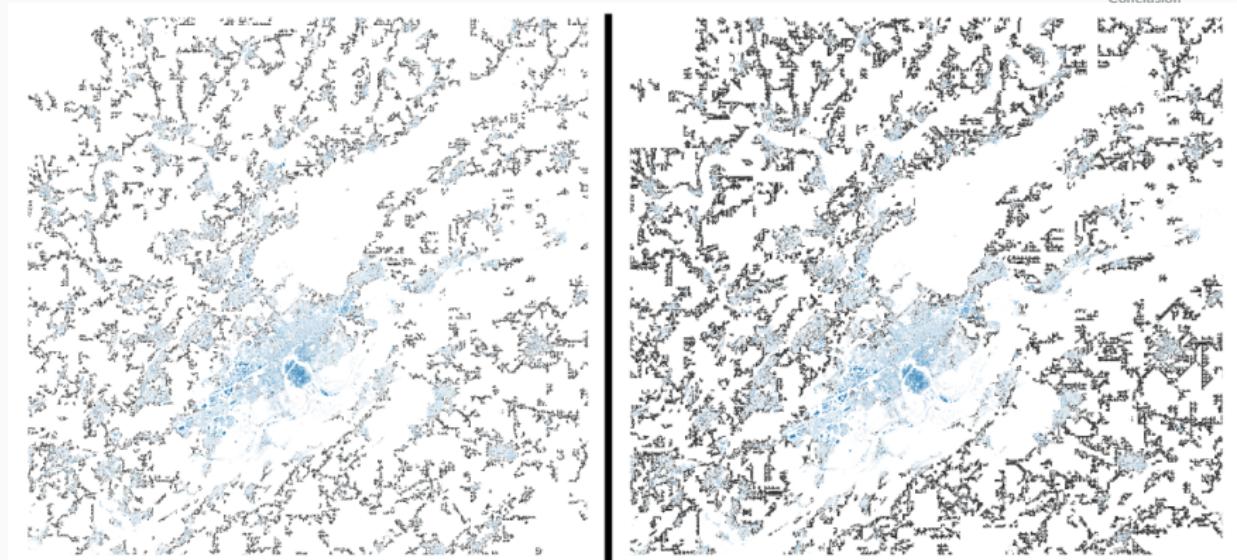
Validation du
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation théma
Conclusion

- Intensité du développement résidentiel

MUP-City : intensité du développement résidentiel

Introduction
ArtiScales
MUP-City
Parcel
SimPLU3D

Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation
Conclusion



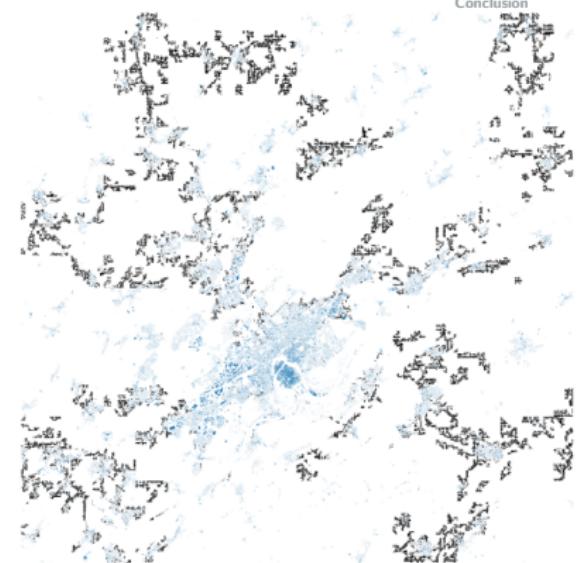
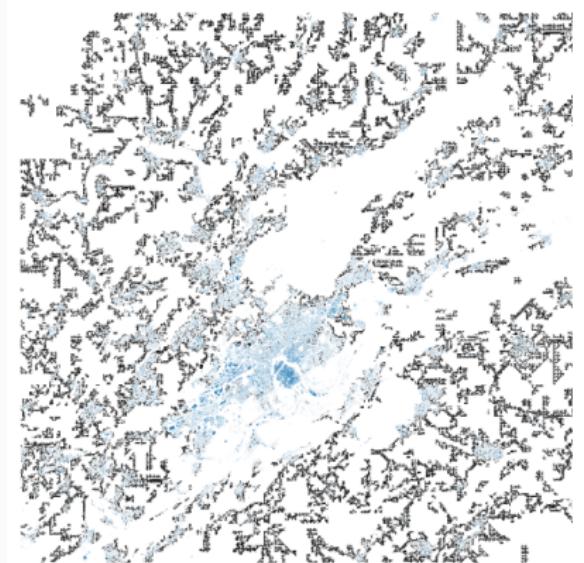
exemples d'un scénario peu dense et un scénario modérément dense

MUP-City: analyse de variabilité - Paramètres scénaristiques

Validation du
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation théma
Conclusion

- Intensité du développement résidentiel
- Uniformité du développement résidentiel

MUP-City : uniformité du développement résidentiel



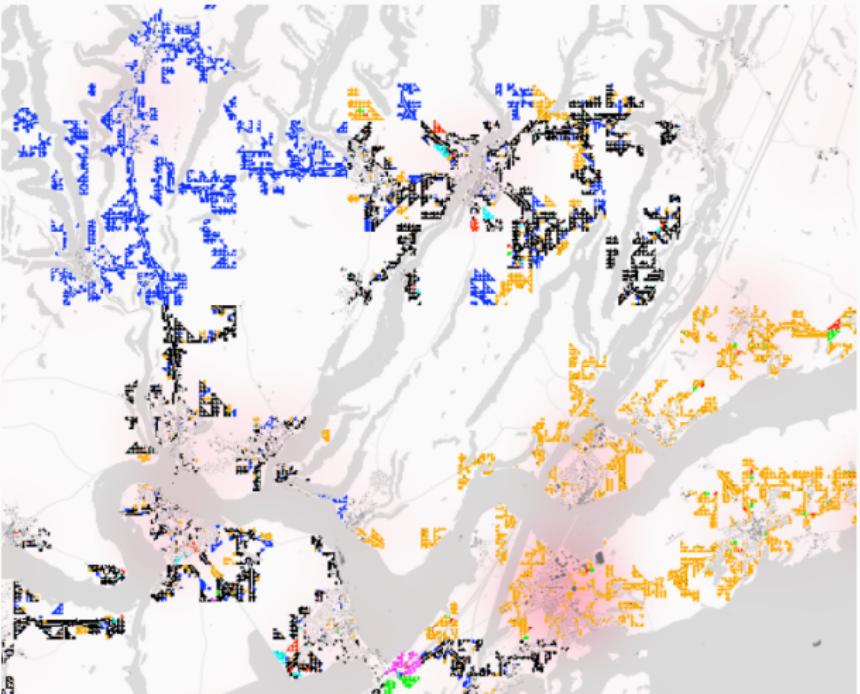
exemples de scénarios uniforme et contrasté

MUP-City: analyse de variabilité - Paramètres scénaristiques

Validation du
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation théma
Conclusion

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

MUP-City : orientation du développement résidentiel



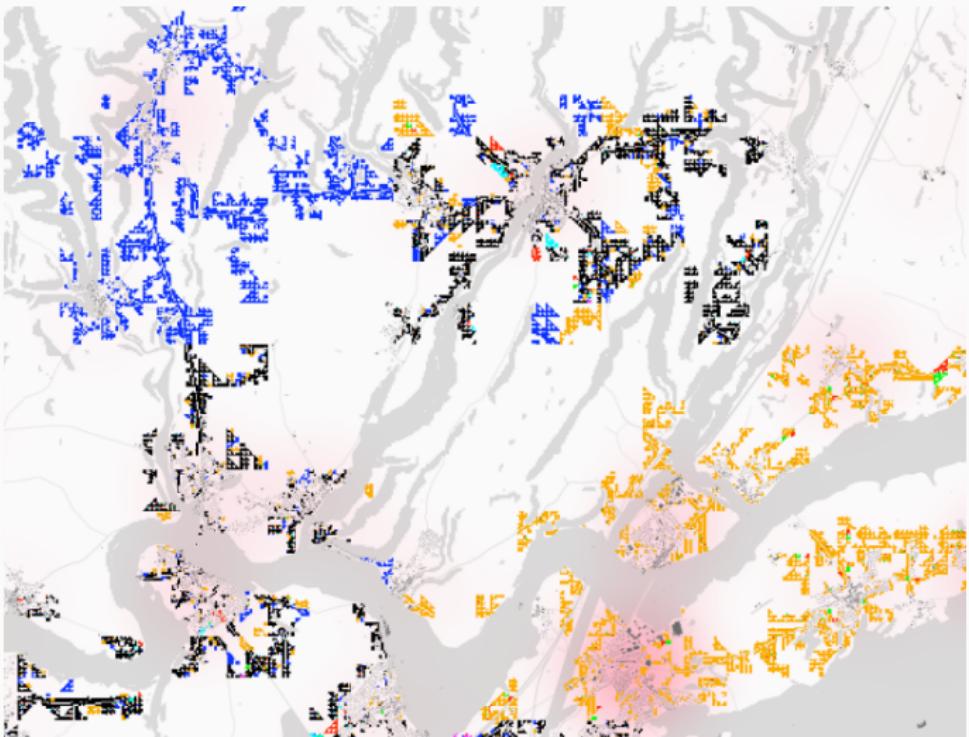
exemple de différentes orientations poursuivis par le développement résidentiel

MUP-City: analyse de variabilité - Paramètres scénaristiques

Validation du
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation théma
Conclusion

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

Validation de différentes configurations spatiales de MUP City

Validation

du

Validation

de

Expérimentation

Évaluation du fon

Utilisation

thém

Conclusion

Indicateurs utilisés

- Nombre de cellules et localisation
- Correspondance aux objectifs de création de logements
- Dimension fractale, accessibilité

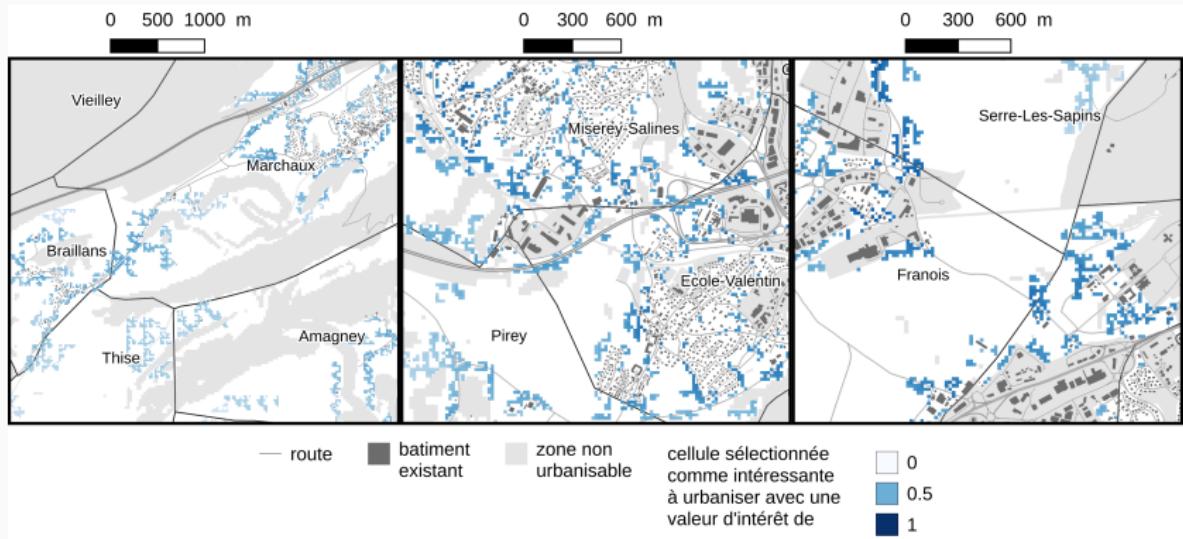
Validation de différentes configurations spatiales de MUP City

Introduction
Artificial
Neural
Network
Parcel
SimPLU3D

Scénario d'étalement résidentiel

Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du
Utilisation
Conclusion

Scénario au développement résidentiel **uniforme, peu intense et extensif** :



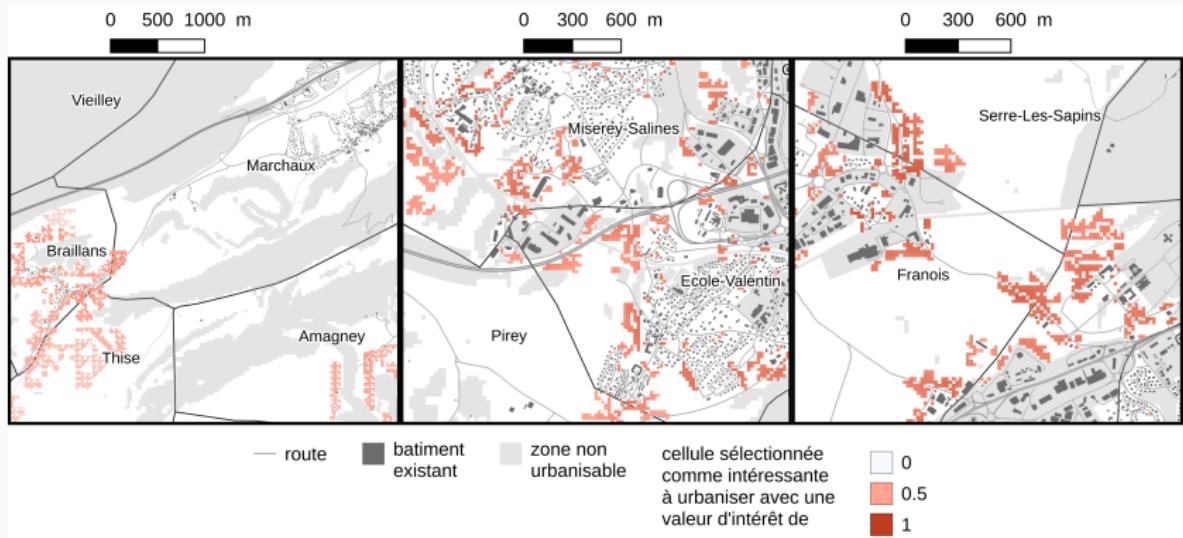
Validation de différentes configurations spatiales de MUP City

Introduction
Artificial
Neural
Network
Parcel
SimPLU3D

Scénario d'extension résidentielle ciblée

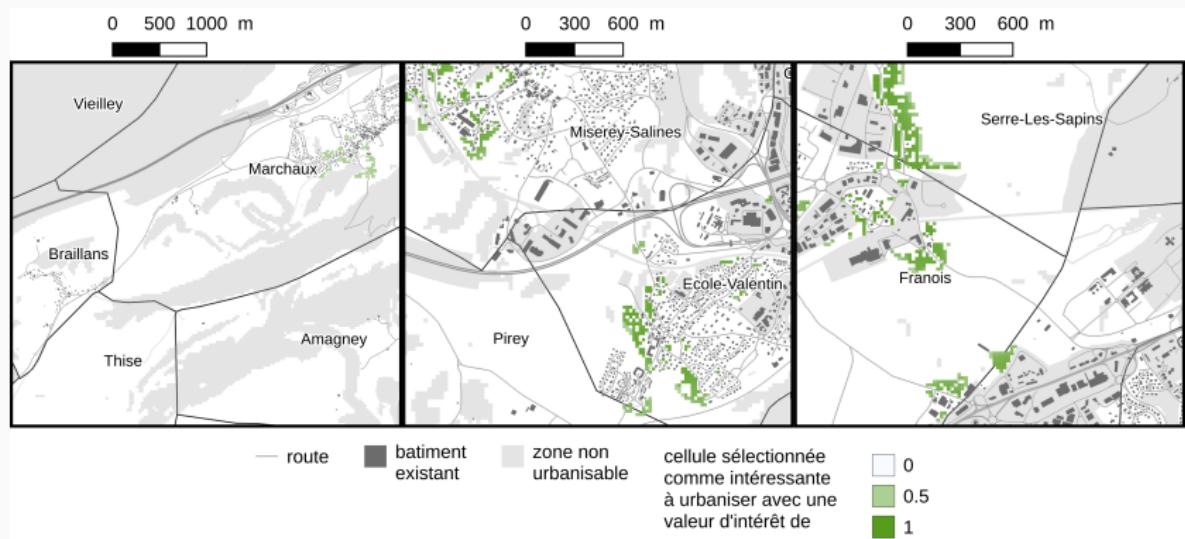
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du
Utilisation
Conclusion

Scénario au développement résidentiel **contrasté, intense et extensif** :



Scénario d'intensification de la densité résidentielle

Scénario au développement résidentiel **peu extensif** mais **uniforme** et **très intense** :



Variabilité due aux paramètres techniques

Validation du
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation théma
Conclusion

Combinaison de types de paramètres

Indicateurs :

- RéPLICATION de la sélection des cellules
- Intérêt des cellules à être urbanisées
- Surface sélectionnée

Scénario d'étalement résidentiel

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

Scénario d'extension résidentielle ciblée

- 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

Scénario d'intensification de la densité résidentielle

- 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

Validation du
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation théma
Conclusion

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

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

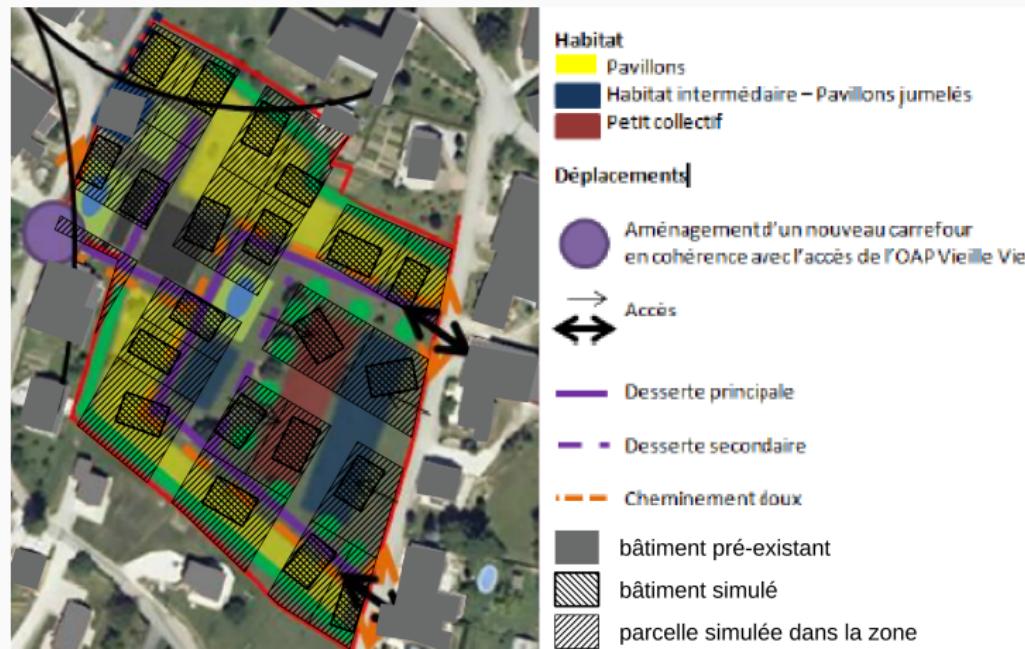
Validation thématique de ces scénarios

Validation du Parcel Manager

Application de l'algorithme sur l'ensemble de la zone d'étude et comparaisons de caractéristiques

Comparaison avec certaines opérations spéciales d'aménagement

Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation Conclusion



Validation de SimPLU3D

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*)

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*)

Estimation du nombre de logements et correspondance avec les normes pour tels types de logements

Rétro-calculation si incompatibilité

Validation thématique de ces nombres normaux de nombre de logements par bâtiments

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

- Extension ciblée (développement résidentiel **contrasté, intense et extensif**)
- Intensification (développement résidentiel **peu extensif mais uniforme et très intense**)

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

Simulation de logements

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Analyse

Validation

Validation

Expérimentation

du

Utilisation

Conclusion

thématique

Table 1: Comparaison de la création de logements mesurée par le SCoT avec les estimations des simulations d'ArtiScales

Typologie de l'armature	Objectif SCoT sur 25 ans	Nombre de logements produits en 4 ans ¹	Intensification - paramétrage dense	Étalement ciblé - paramétrage modérément dense
Ville centre	18 200	2 621	3 192	3 891
Communes périphériques	3 500	505	1 764	1 519
Communes relais	1 250	147	489	331
Communes équipées	600	42	21	102
Halte ferroviaire	2 200	328	948	1 207
Commune hors armature	5 250	1 055	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

Validation

Validation

Expérimentation

du

Utilisation
inclusion

théma

Table 1: 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	Intensification - paramétrage dense	Étalement ciblé - paramétrage modérément dense
Ville centre	18 200	2 621	3 192	3 891
Communes périphériques	3 500	505	1 764	1 519
Communes relais	1 250	147	489	331
Communes équipées	600	42	21	102
Halte ferroviaire	2 200	328	948	1 207
Commune hors armature	5 250	1 055	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

Validation

Validation

Expérimentation

du

Utilisation
Conclusion

théma

Table 1: 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	Intensification - paramétrage dense	Étalement ciblé - paramétrage modérément dense
Ville centre	18 200 (7 280)	2 621	3 192	3 891
Communes périphériques	3 500 (1 400)	505	1 764	1 519
Communes relais	1 250 (500)	147	489	331
Communes équipées	600 (240)	42	21	102
Halte ferroviaire	2 200 (880)	328	948	1 207
Commune hors armature	5 250 (2 100)	1 055	2 718	4 729

En 4 ans : Production de logements en deçà de l'objectif

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

Densité nette de logements par m^2

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Analyse

Validation

Validation

Expérimentation

du

Utilisation

Conclusion

thématisé

Table 2: 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 paramétrage dense	d -	scenario c - paramétrage modérément dense
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

Validation

du

Validation

Expérimentation

Utilisation

théma

Conclusion

A faire..

Plus de comparaison ciblée de scénarios

Variantes serait un moyen de proposer des scénarios qui seraient ok?

Extrapolation du parcel manager

Utilisation thématique des résultats

Compatibilité entre les documents

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Analyse

Validation

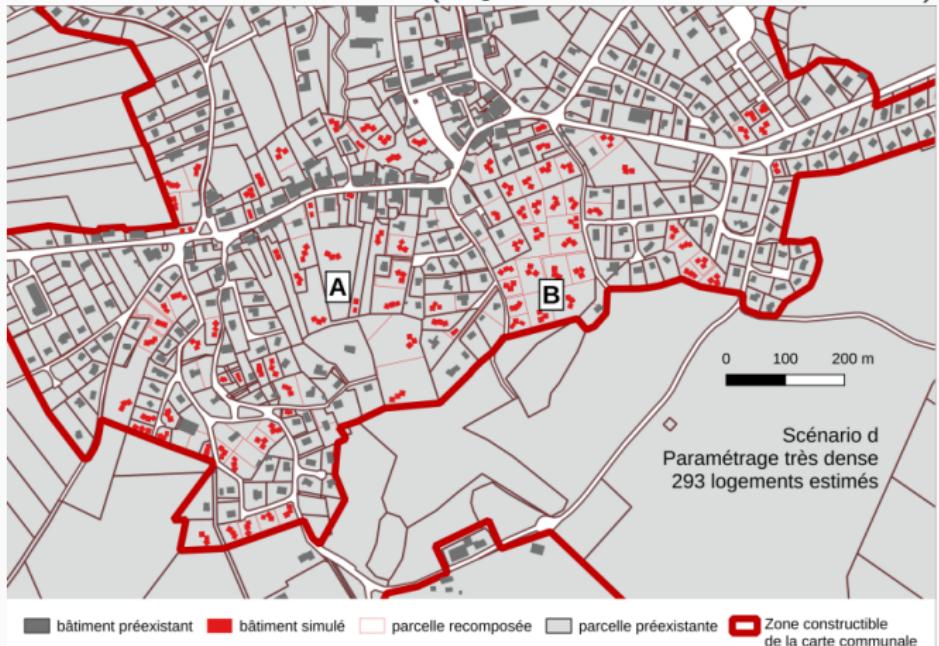
Validation

Expérimentation

Évaluation du fon

Conclusion

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



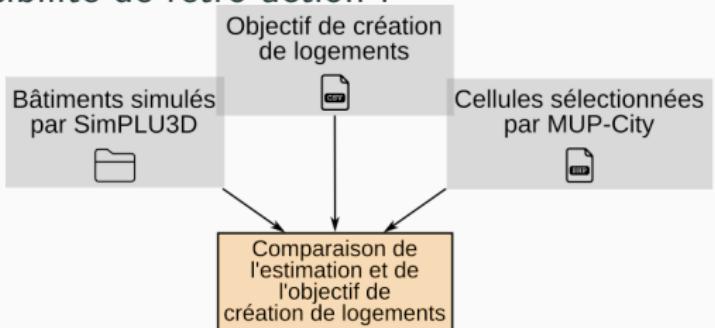
Incompatibilité entre les objectifs de création de logements et les documents d'urbanisme (objectifs sur-dimensionnés ?)
carte d'une commune qui ne peut pas atteindre les objectifs

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

Possibilité de rétro-action :

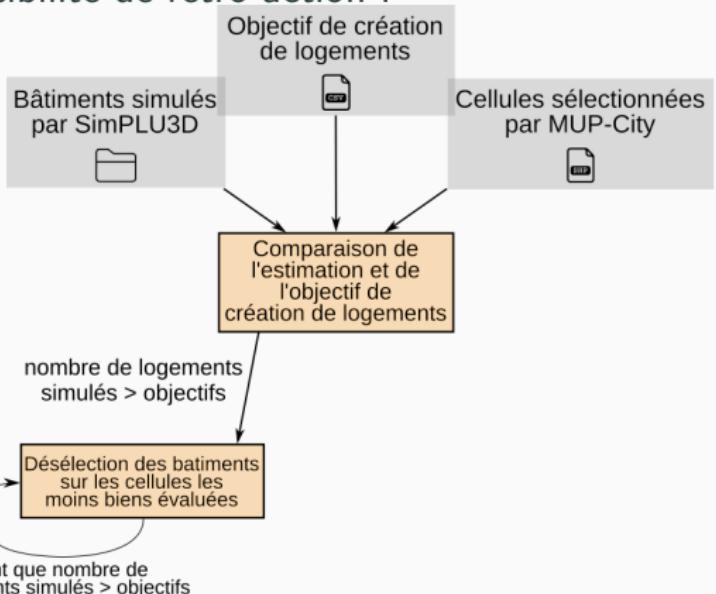
Incompatibilité entre les objectifs de création de logements et les documents d'urbanisme (objectifs sur-dimensionnés ?)

Possibilité de rétro-action :



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

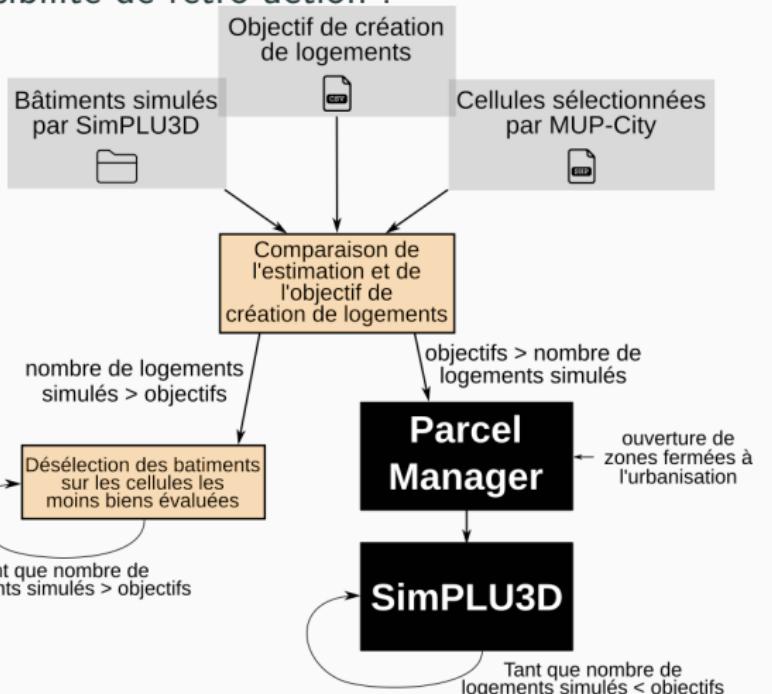
Possibilité de rétro-action :



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 et perspectives

Simulateur hybride : Couplage de modèles descriptifs/génératifs à un modèle stylisé pour en faire un outil opérationnel d'aide à la décision dans l'aménagement

Résultats réalistes et plausibles en comparaison avec les évolutions du territoire

Utilisation de MUP-City

Variabilité intéressante pour proposer différentes configurations résidentielle

Plus adapté à générer une extension résidentielle

Possibilité de compléter ce module ?

Utilisation de SimPLU3D

Optimisation de la simulation nécessaire

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 contrat post-doctoral sur le PLU intercommunal de Besançon

Perspectives de recherche : Prise en compte de nouveaux processus

Introduction
ArtiScales
X-Plan
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique

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

Automatiser l'analyse de variabilité pour permettre la génération de configurations spatiales intéressantes à urbaniser

Perspectives de recherche : Prise en compte de nouveaux processus

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

Automatiser l'analyse de variabilité pour permettre la génération de configurations spatiales intéressantes à urbaniser

Orienter la conception des documents d'aménagement vers des configurations résidentielles intéressantes

Perspectives de recherche : Génération automatique de Cartes Communales

Introduction
iScales
Multi-sites
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thémati

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

Perspectives de recherche : Génération automatique de Cartes Communales

Introduction
iScales
Multi-sites
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thémat

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
Multi-crit.
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thémat

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

Introduction
iScales
Méthode
Parcel
SimPLU3D
Analyse
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
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
- 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)

Merci pour votre attention

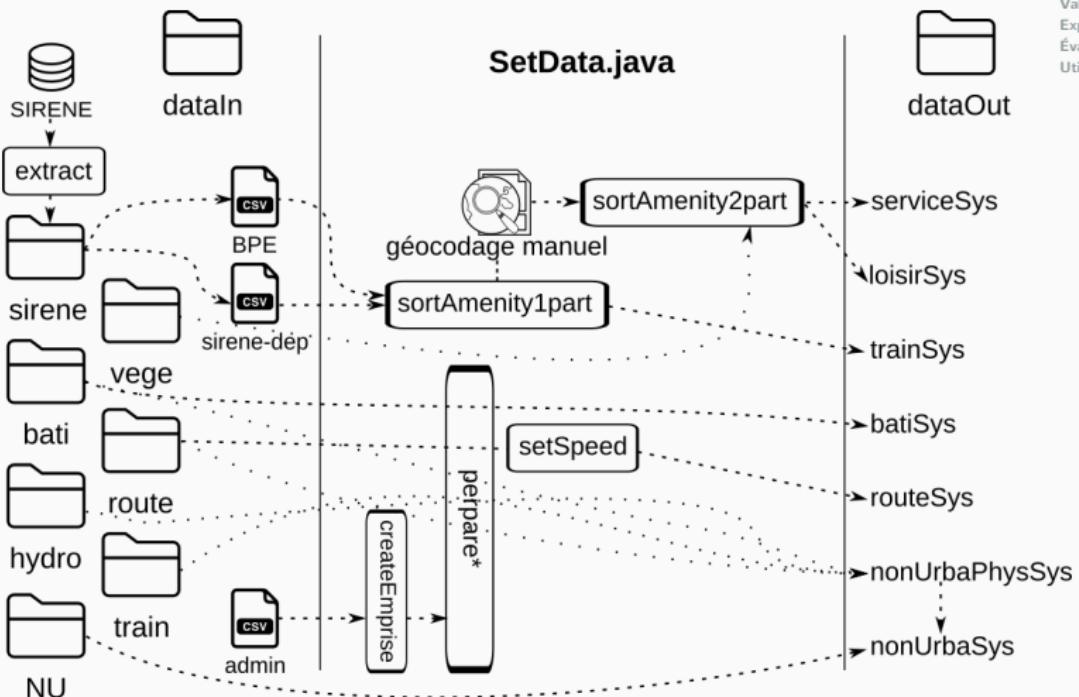
Everything we do is open source

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

Validation

du

Validation

Expérimentation

Évaluation du fon

Utilisation théma

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

Légende

■ Emprise du SCoT

Nombre de logements prévus par le SCoT

3 - 63

63 - 163

163 - 275

275 - 400

400 - 1138

18625

■ Emprise du PLH

Logements à construire par un acteur public dans le PLH

/ / / / / 0% - 25%

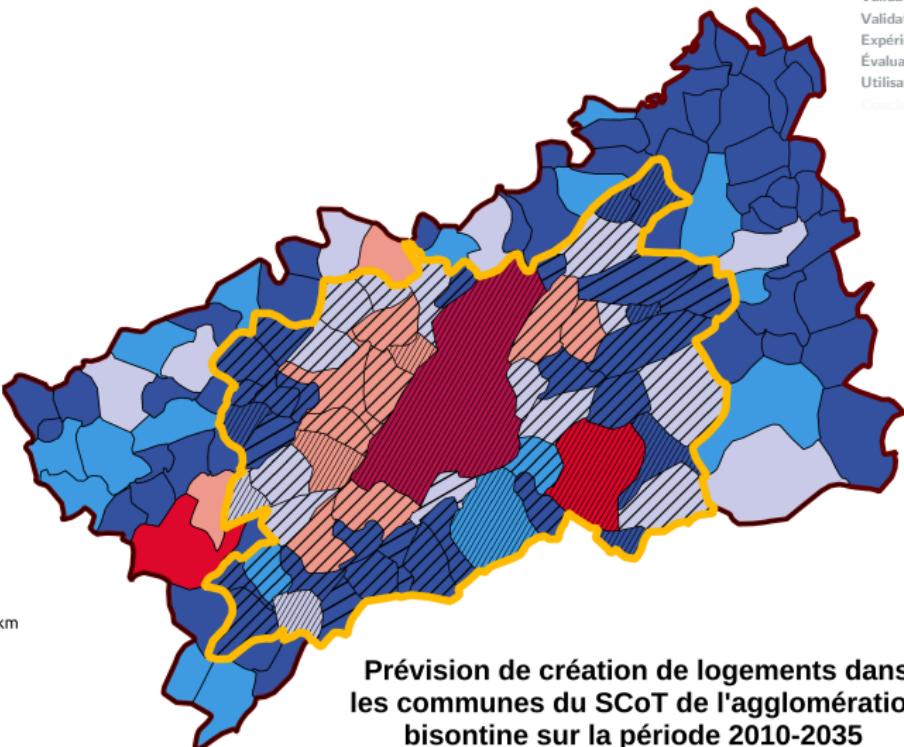
/ / / / / 25% - 35%

/ / / / / 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

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

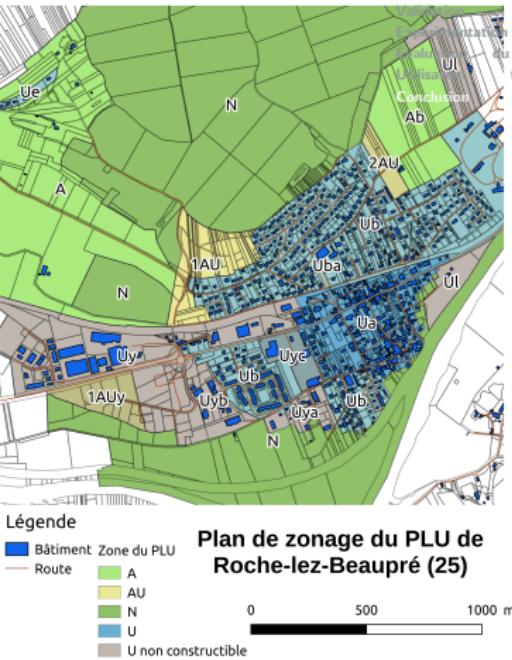
SimpLU3D

Analyse

Validation

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

SUP-City

Parcel

SimPLU3D

Analyse

Validation

Validation

du

Expérimentation

Évaluation du fon

Utilisation théma

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)

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

Comparaison d'OAP et des résultats de simulation

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

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
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique

Table 3: 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
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fon
Utilisation thématique

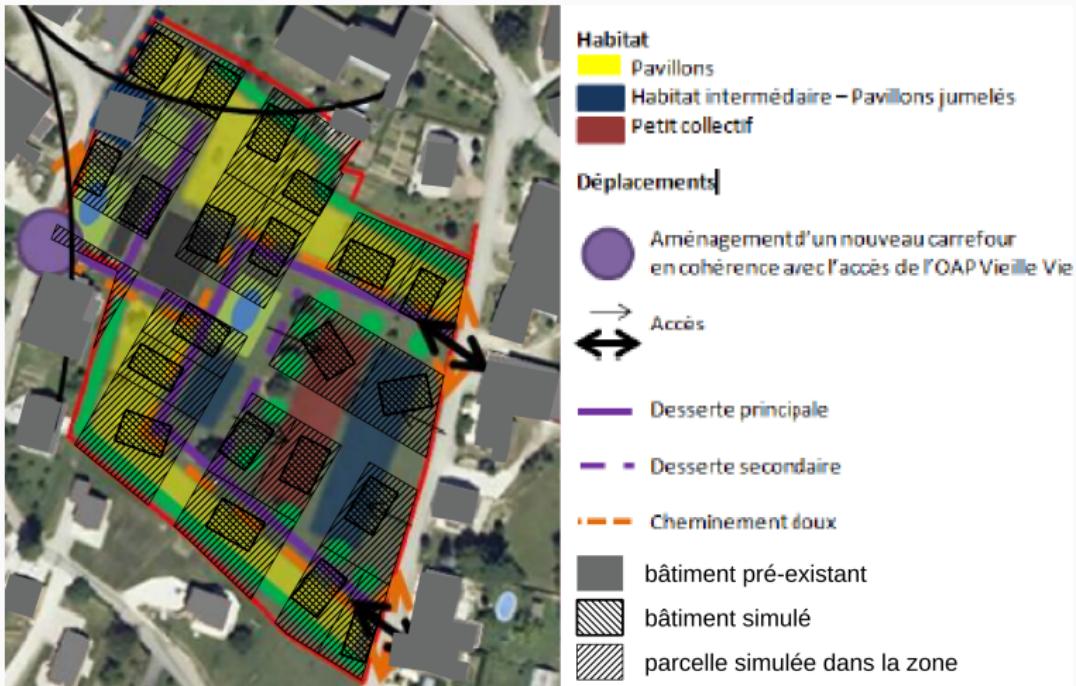


Illustration superposant l'OAP du *Champ Sera à La Tour De Say* (25640) et les résultats de la simulation provenant du scénario c avec le paramétrage induisant une forte densité

Sélection parcellaire et consommation foncière

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

Table 3: Consommation foncière des différents scénarios

Scenario	Extension ciblée		Intensification
Paramétrage densité	forte	modérée	forte
Surface de parcelles urbanisée (km^2)	6,267	6,678	3,406
Surface de parcelles en zone urbanisée (km^2)	3,867	4,006	1,174
Surface de parcelles en zone ouverte à l'urbanisation (km^2)	2,400	2,617	2,232

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