

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

2019-09-22

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

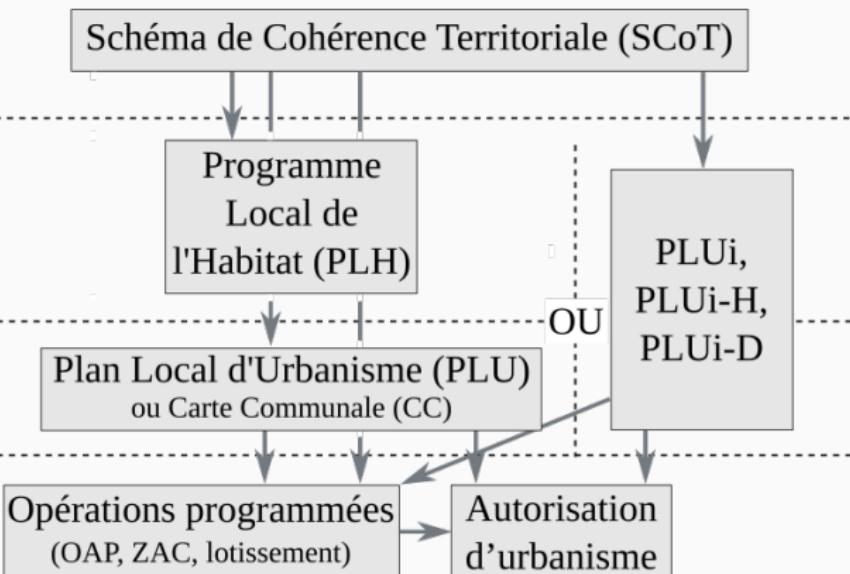
Échelle du bassin
de vie

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 Trames vertes et bleues	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**
- Objectifs divers
- Différentes **échelles** d'application
- Effets incertains
- Combinaison potentiellement **contradictoire**

Enjeux : compatibilité/conformité des documents d'urbanisme

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

Modéliser l'articulation de ces contraintes pour tester leurs combinaison

Le contenu de la modélisation

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

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

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 :

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

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

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

Le contenu de la modélisation

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation

du

Validation

du

Validation

Expérimentation

Évaluation du fo

Utilisation thématique

Conclusion

- 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

Le contenu de la modélisation

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation

du

Validation

du

Validation

Expérimentation

Évaluation du fo

Utilisation thématique

Conclusion

- 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, ...)

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, ...)
- Représentation des états intermédiaires non nécessaire

Le contenu de la modélisation

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation

du

Validation

du

Validation

Expérimentation

Évaluation du fo

Utilisation thématique

Conclusion

- 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, ...)
- Représentation des états intermédiaires non nécessaire
- 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, ...)
- Représentation des états intermédiaires non nécessaire
- Pas de reproduction des phénomènes antérieurs
- Solutions libres et open-source pour une recherche **vérifiable** et **reproductible**

Le contenu de la modélisation

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation

du

Validation

du

Validation

Expérimentation

Évaluation du fo

Utilisation thématique

Conclusion

- 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, ...)
- Représentation des états intermédiaires non nécessaire
- Pas de reproduction des phénomènes antérieurs
- Solutions libres et open-source pour une recherche **vérifiable** et **reproductible**
- Utilisation de modèles préexistants

État de l'art des solutions existantes

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation du

Validation du

Validation

Expérimentation

Évaluation du fo

Utilisation thématique

Conclusion

- ★ Objectif : Modèle prospectif d'aide à la décision
- ★ Modélisation de phénomènes géographiques
- ★ Approches intégrées
- ★ Modèles génératifs

État de l'art des solutions existantes

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation du

Validation du

Validation

Expérimentation

Évaluation du fo

Utilisation thématique

Conclusion

- ★ Objectif : Modèle prospectif d'aide à la décision
- ★ Modélisation de phénomènes géographiques
- ★ Approches intégrées
- ★ Modèles génératifs

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 **scénarios**

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 **scénarios**

Représenter des futurs potentiels, recherchés, redoutés

Utilisation en tant qu'**outil** pour l'**aide** à la conception de documents

De nombreux outils *spatialement explicites* à visée prospective existent

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

Introduction
ArtiScales
Parcel
SimPLU3D
Validation
Validation
Validation
Conclusion
Validation
Expérimentation
Évaluation du fo
Évaluation thématique

Les modèles d'**aide à la décision multi-critères** (ref) permettent de :

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

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 prospective

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

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

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

Inconvénients :

- Peu adaptés pour représenter la complexité des mécanismes multi-échelles d'un développement résidentiel
- Résultats dépendant 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 prospective

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

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

État de l'art des solutions existantes

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation du

Validation du

Validation

Expérimentation

Évaluation du fo

Utilisation thématique

Conclusion

- ★ Objectif : Modèle prospectif d'aide à la décision
- ★ Modélisation de phénomènes géographiques
- ★ Approches intégrées
- ★ Modèles génératifs

État de l'art des modèles simulant le développement résidentiel

Introduction

ArtiScales

Model

Parcel

SimPLU3D

Validation du

Validation du

Validation

Expérimentation

Évaluation du

Utilisation thématique

Conclusion

Modélisation de phénomènes complexes grâce à des objets géométriques *simplifiés*

État de l'art des modèles simulant le développement résidentiel

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

Inconvénients :

- ne pas traiter des formes géographiques complexes (parcelles, bâtiments)

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

- représenter un système en reproduisant les comportements d'agents et leurs interactions ;
- faire émerger des configurations particulières

Inconvénients :

- très forte dynamiques
- modélisation de notre problème trop compliquée

État de l'art des modèles simulant le développement résidentiel

Introduction

ArtiScales

Model

Parcel

SimPLU3D

Validation

du

Validation

du

Validation

Expérimentation

Évaluation du fo

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 solutions existantes

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation du

Validation du

Validation

Expérimentation

Évaluation du fo

Utilisation thématique

Conclusion

- ★ Objectif : Modèle prospectif d'aide à la décision
- ★ Modélisation de phénomènes géographiques
- ★ Approches intégrées
- ★ Modèles génératifs

État de l'art des modèles intégrés simulant le développement résidentiel

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

- simuler les interactions entre différents modèles (occupation du sol, mobilités, systèmes économiques ...)
- articuler différents systèmes modélisés
- avoir une approche *prospective*

Inconvénients :

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

État de l'art des modèles intégrés simulant le développement résidentiel

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

- simuler les interactions entre différents modèles (occupation du sol, mobilités, systèmes économiques ...)
- articuler différents systèmes modélisés
- avoir une approche *prospective*

Inconvénients :

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

Approches intéressantes du **couplage** de **modules** agissant à **différentes échelles**

- ★ Objectif : Modèle prospectif d'aide à la décision
- ★ Modélisation de phénomènes géographiques
- ★ Approches intégrées
- ★ Modèles génératifs

État de l'art des modèles génératifs de développements résidentiels

Introduction	
ArtiScales	
Parcel	
SimPLU3D	
Validation	Validation
Validation	Validation
Conclusion	Conclusion
Validation	
Expérimentation	
Évaluation	Évaluation
Utilisation	du fo
Conclusion	thématique

Génération d'îlots urbains

- processus géo-historiques GeOpenSim (Perret 2010)

État de l'art des modèles génératifs de développements résidentiels

Introduction
ArtiScales
Parcel
SimPLU3D
Validation du
Validation du
Validation
Expérimentation
Évaluation du fo
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 génératifs de développements résidentiels

Introduction
ArtiScales
Parcel
SimPLU3D
Validation du
Validation du
Validation
Expérimentation
Évaluation du fo
Utilisation thématique
Conclusion

Génération de bâtiments

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

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

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** ?

Objectif de la thèse

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation du

Validation du

Validation

Expérimentation

Évaluation du fo

Utilisation thématique

Conclusion

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

Plan de la présentation

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation

du

Validation

du

Validation

Expérimentation

Évaluation du fo

Utilisation thématique

Conclusion

- Fonctionnement d'**ArtiScales**
- **Modules** d'ArtiScales
- **Analyse et validation** des modules d'ArtiScales
- **Expérimentation** d'ArtiScales

ArtiScales

Création d'un modèle de développement résidentiel :

- réaliste
- multi-échelles
- soumis à diverses contraintes
- ouvert

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

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

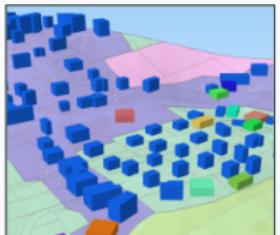


Simulation d'un nombre et d'un type
de logements

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

SimPLU3D

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



Sélection d'emplacements intéressants à urbaniser et 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 logements



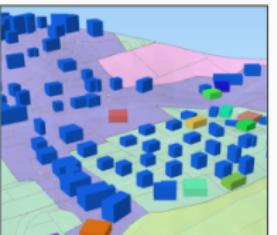
Sélection d'emplacements intéressants à urbaniser et traduisant des contraintes d'aménagement

MUP-City



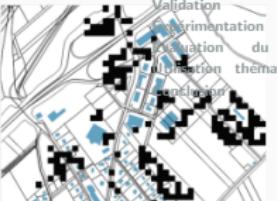
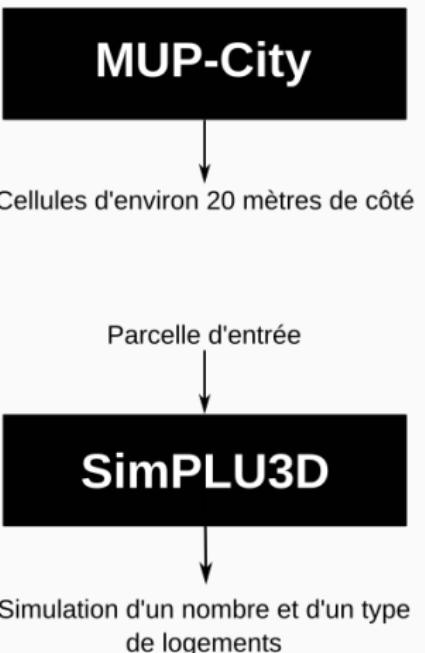
Simulation de bâtiments contraints par les règlements d'urbanisme sur certaines parcelles

SimPLU3D



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

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



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

ArtiScales : Fonctionnement

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation

Validation

Validation

Expérimentation

Evaluation

Validation

fo

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

Sélection (et recomposition) parcellaire

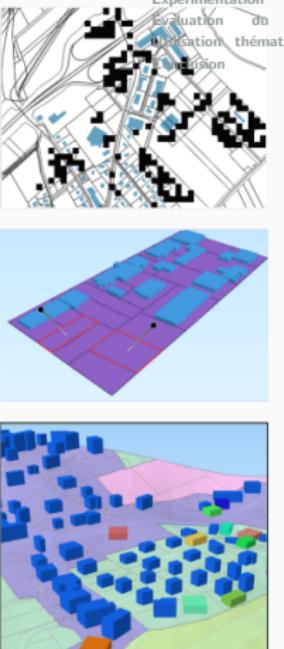
Simulation de bâtiments contraints par les règlements d'urbanisme sur certaines parcelles

MUP-City

Parcel Manager

SimPLU3D

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



MUP-City

MUP-City : principes et objectifs

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation

du

Validation

du

Validation

Expérimentation

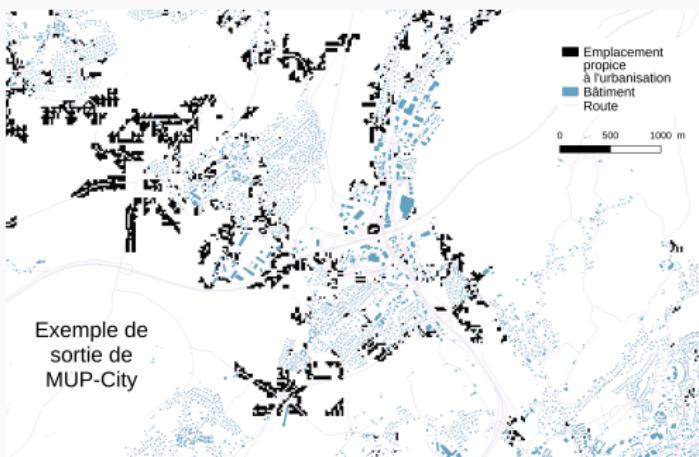
Évaluation du fo

Utilisation thématique

Conclusion



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



MUP-City : principes et objectifs

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation

du

Validation

du

Validation

Expérimentation

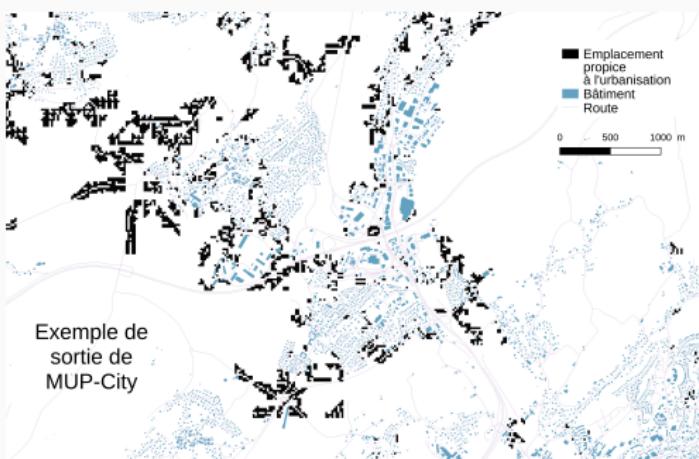
Évaluation du fo

Utilisation thématique

Conclusion

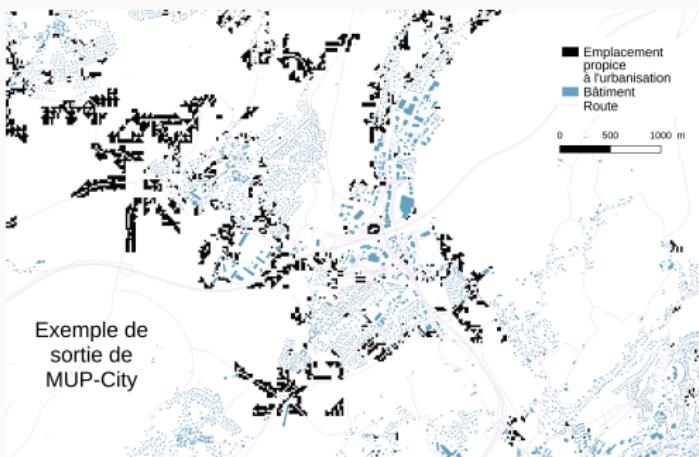


- Propose une **organisation spatiale locale** de développement résidentiel pour une **région urbaine**
 - organisation fractale





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



MUP-City : principes et objectifs

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation

du

Validation

du

Validation

Expérimentation

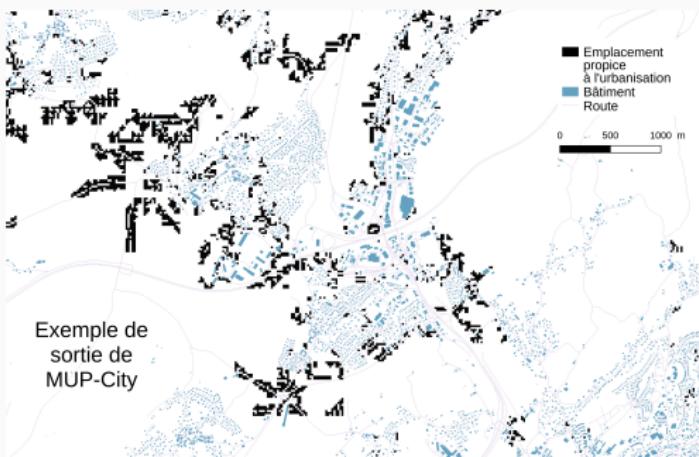
Évaluation du fo

Utilisation thématique

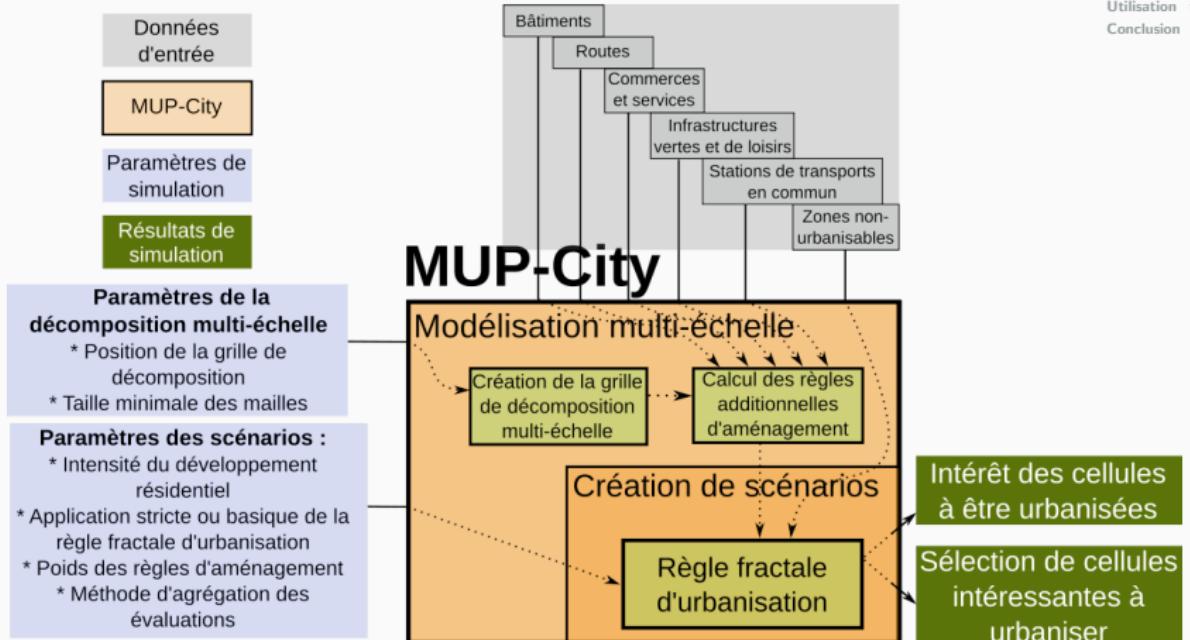
Conclusion



- Propose une **organisation spatiale locale** de développement résidentiel pour une **région urbaine**
 - organisation fractale
 - accessibilité à diverses aménités
- Représente différentes **orientations d'aménagement** grâce à de multiples paramètres.



MUP-City: fonctionnement



Parcel Manager

Présentation du modèle

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation

Validation

Validation

Expérimentation

Évaluation du fo

Utilisation thématique

Conclusion

MUP-City

Cellules
sélectionnées

Parcel Manager



Présentation du modèle

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation

Validation

Validation

Expérimentation

Evaluation du fo

Utilisation thématique

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

Validation

Validation

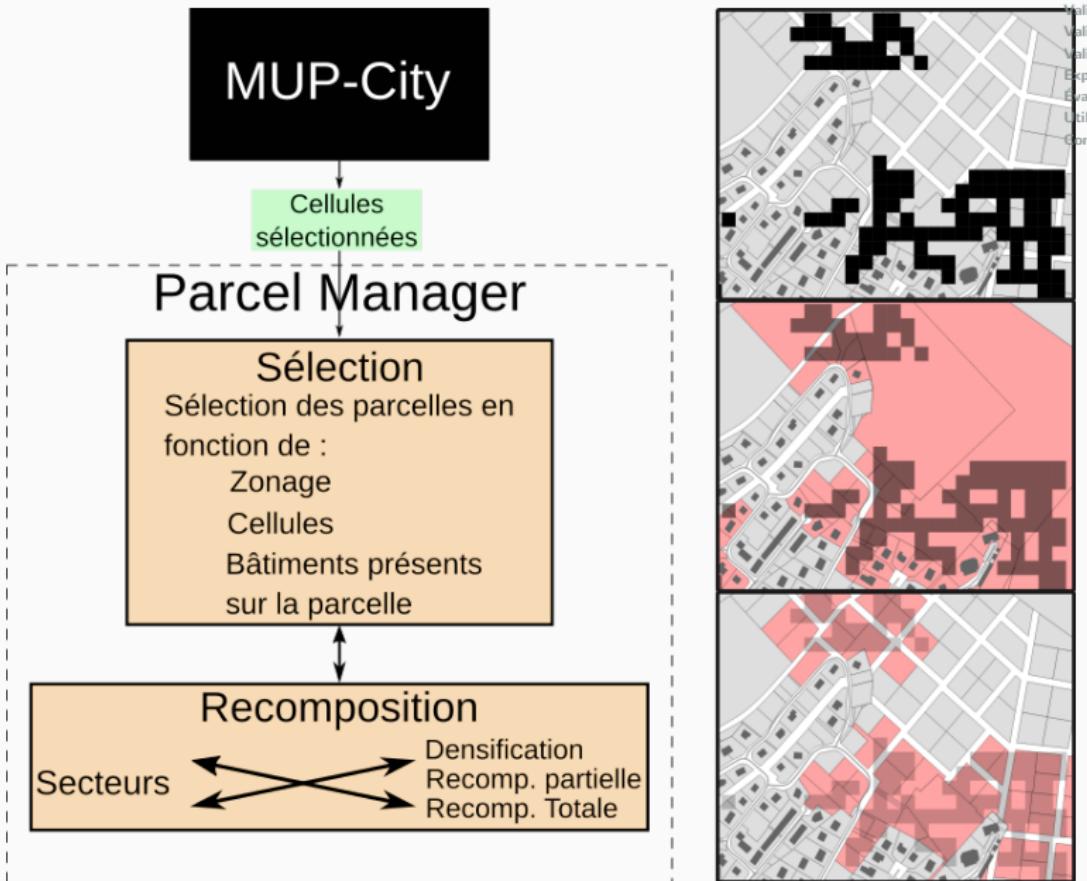
Validation

Expérimentation

Evaluation du fo

Utilisation thématique

Conclusion



Algorithme de découpage parcellaire

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation

du

Validation

du

Validation

Expérimentation

Évaluation du

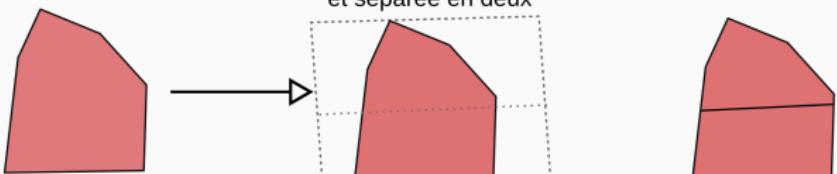
Utilisation thématique

Conclusion

Adapté de Vannegas, 2012

Parcelle initiale

Boîte englobante orientée et séparée en deux



Parcelles retenues

Accès route?

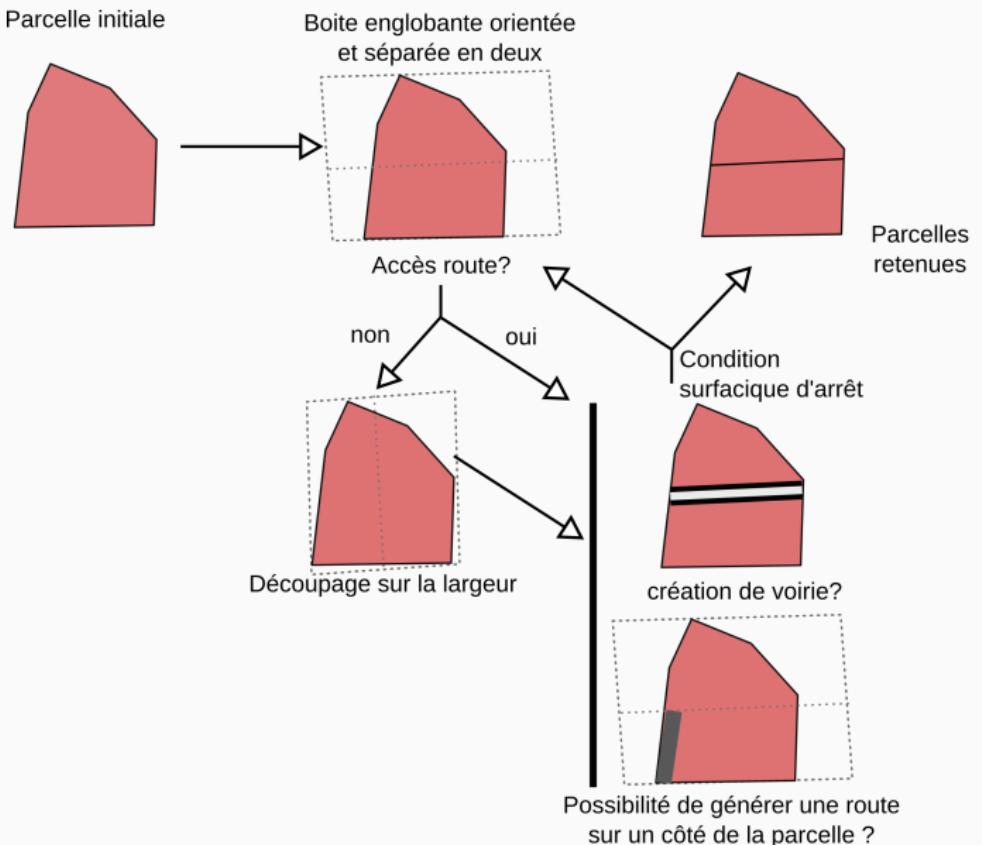
non

oui

Condition surfacique d'arrêt

Découpage sur la largeur

Algorithme de découpage parcellaire



Algorithmes de recomposition parcellaire

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation du

Validation du

Validation

Expérimentation

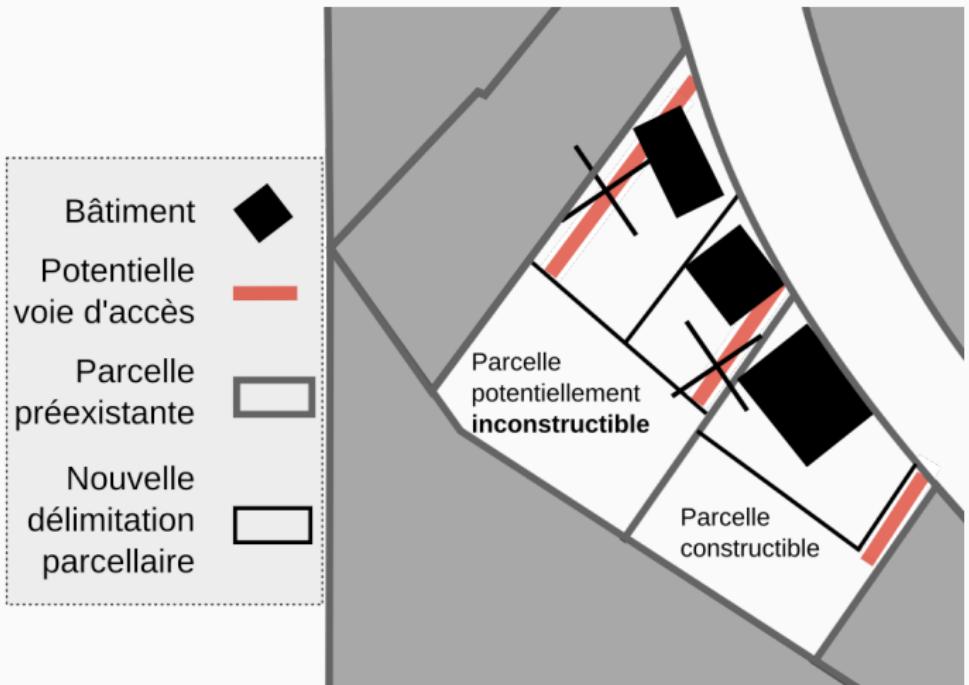
Évaluation du fo

Utilisation thématique

Conclusion

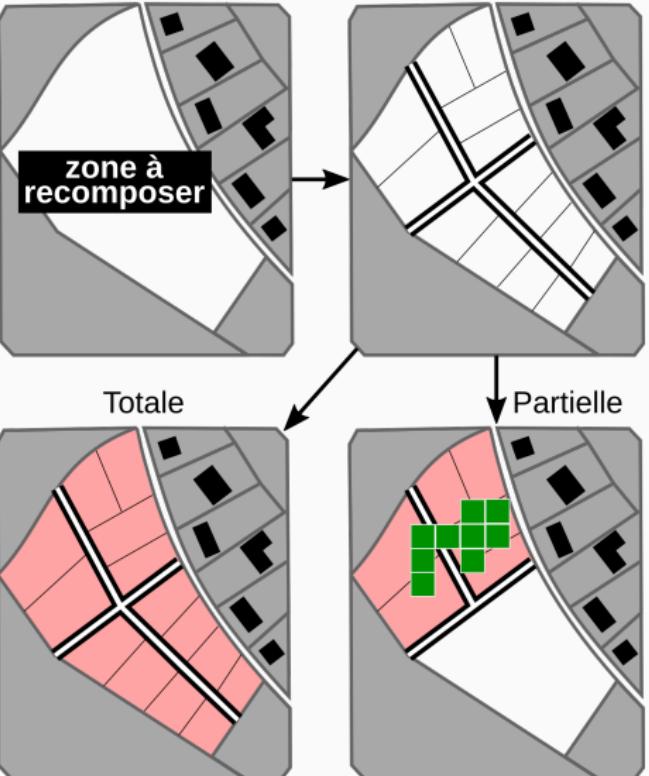
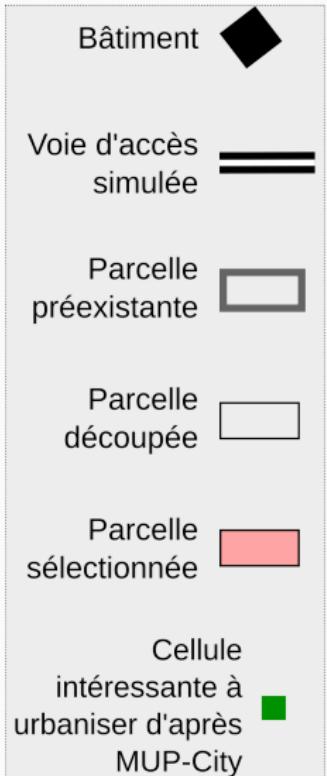
- Densification
- Recomposition parcellaire totale
- Recomposition parcellaire partielle

Densification



- Densification
- Recomposition parcellaire totale
- Recomposition parcellaire partielle

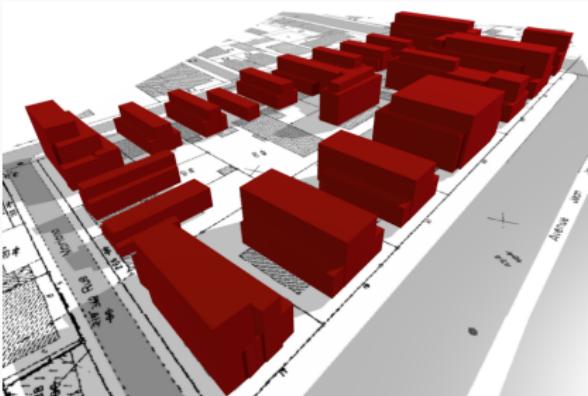
Recomposition parcellaire totale



SimPLU3D

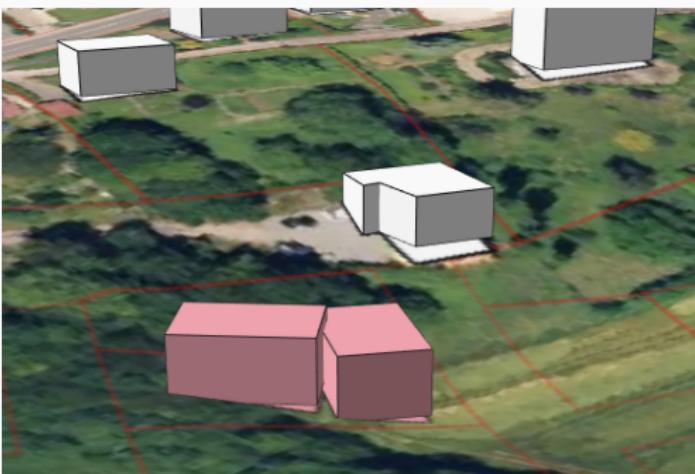
SimPLU3D

- 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



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

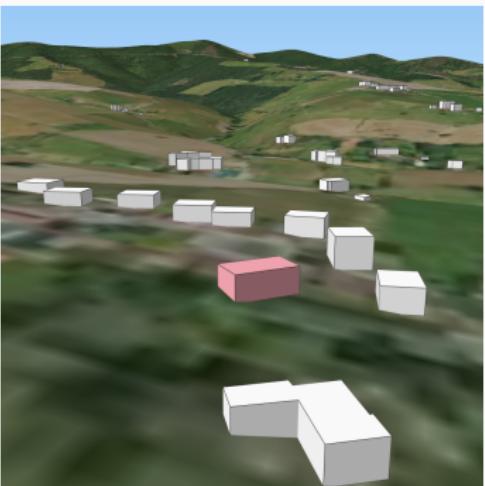
Maison isolée



[5 – 30] logements

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

Pavillon de lotissement



logement individuel

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

Immeuble d'habitat intermédiaire



[2 – 9] logements

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

Petit immeuble collectif



[5 – 30] logements

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

Immeuble collectif de taille moyenne



[30 – 60] logements

- Tirage aléatoire d'une classe d'appartements
- Surface paramétrable de ces classes
- Distribution paramétrable des logements dans l'immeuble

Apports internes à ArtiScales

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation

Validation

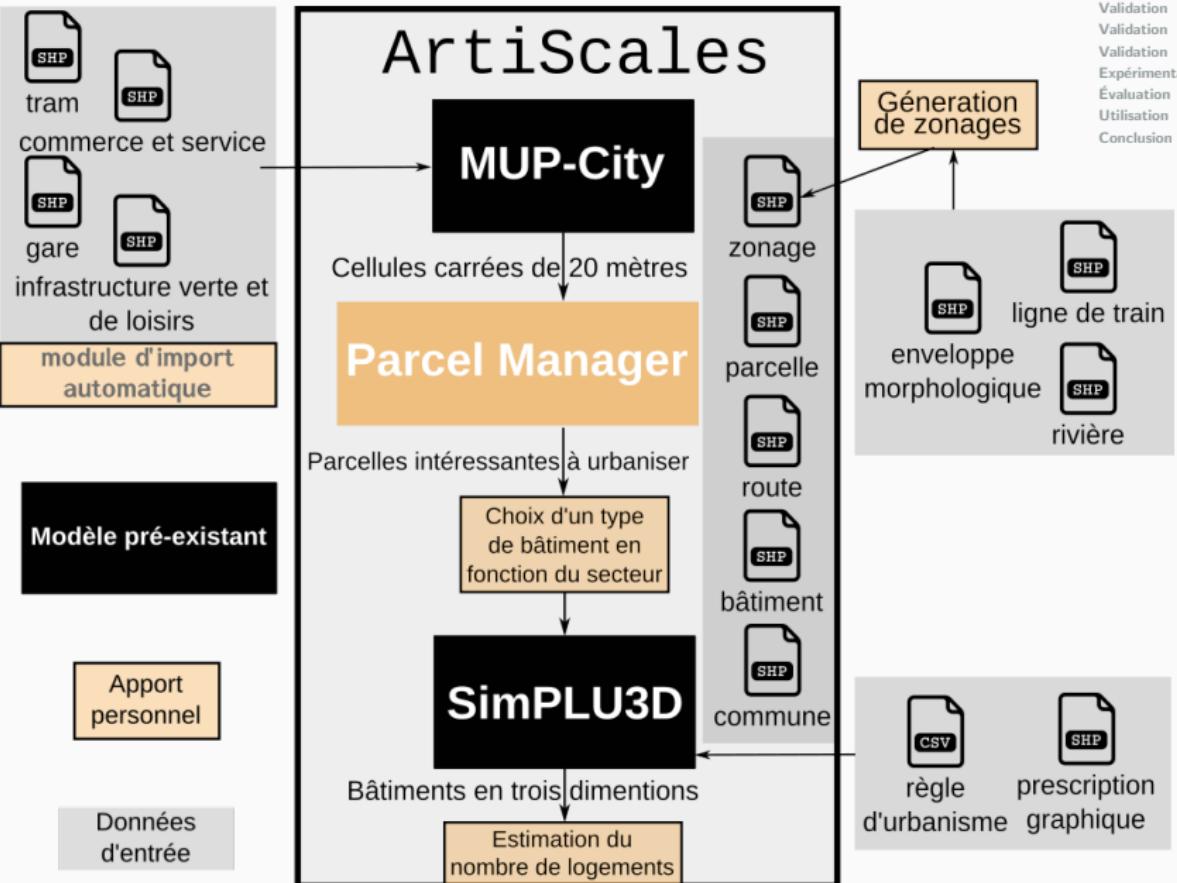
Validation

Expérimentation

Évaluation du fo

Utilisation thématique

Conclusion



Validation du modèle MUP-City

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



exemple de variations stochastiques des résultats 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

Principes

Analyser la variation des résultats de simulation d'un modèle

Rechercher de la source de cette variabilité

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

Analyse de variabilité

Principes

Analyser la variation des résultats de simulation d'un modèle
Rechercher 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

Principes

Analyser la variation des résultats de simulation d'un modèle

Rechercher de la source de cette variabilité

Objectifs

Fiabilité des résultats de simulation

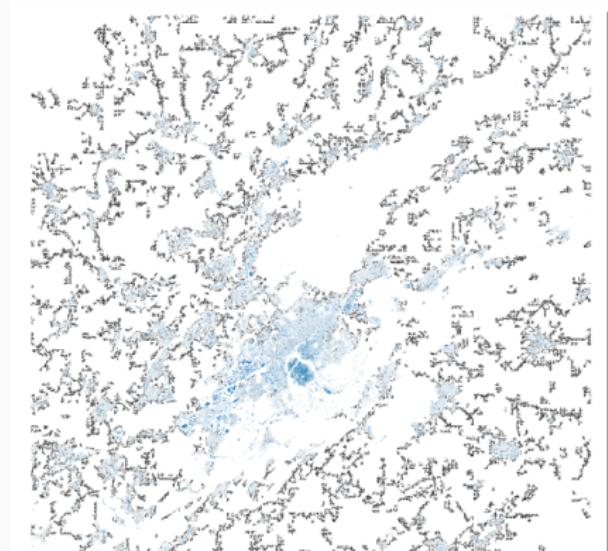
Sélection de **configurations résidentielles** à exploiter

Approche

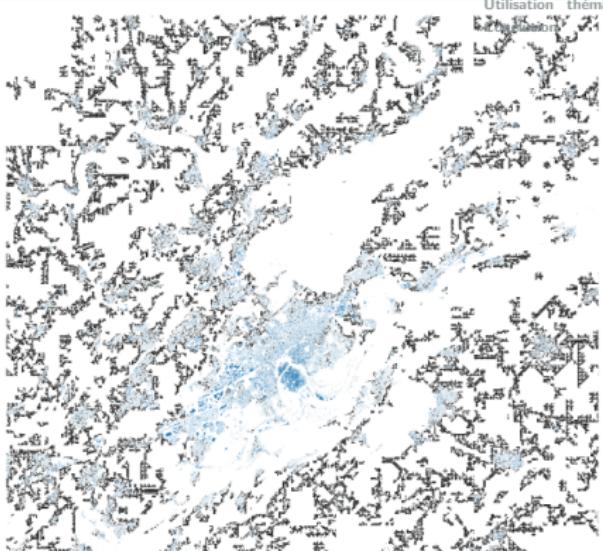
Étude des paramètres dits **techniques**

Étude des paramètres dits **scénaristiques**

1. Intensité du développement résidentiel



cellules intéressantes à urbaniser



bâtimen^t existant



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

1. Intensité du développement résidentiel
2. Uniformité du développement résidentiel

MUP-City : uniformité du développement résidentiel

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation

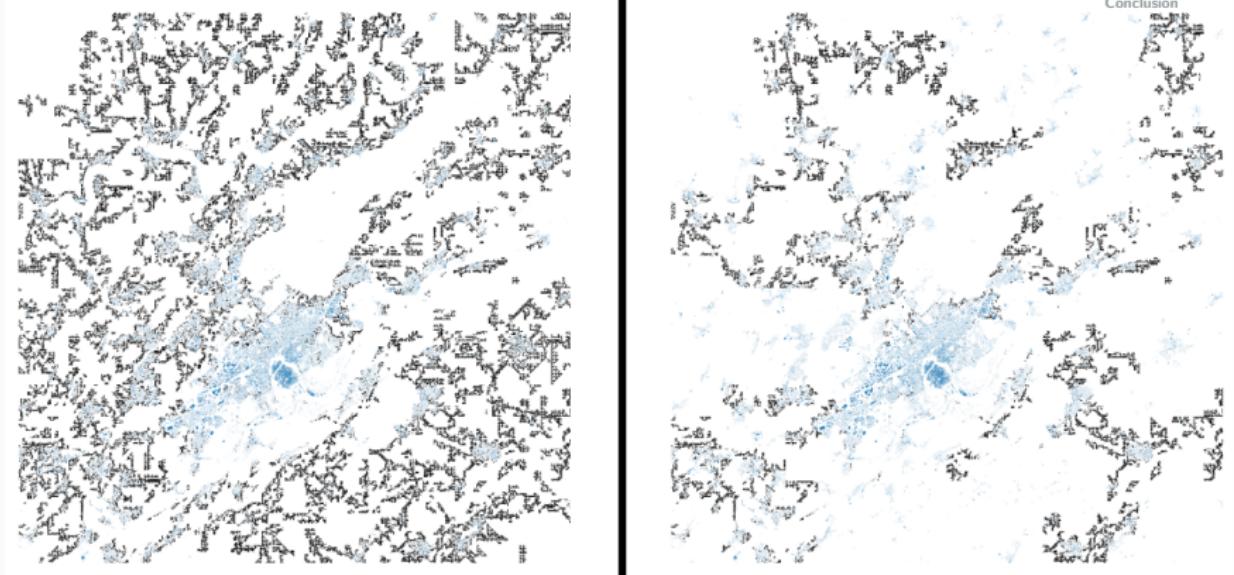
Validation

Expérimentation

Évaluation du fo

Utilisation thématique

Conclusion



Exemples d'un scénario uniforme et d'un scénario contrasté

1. Intensité du développement résidentiel
2. Uniformité du développement résidentiel
3. **Pondération des règles additionnelles d'aménagement**

MUP-City : orientation du développement résidentiel

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation

du

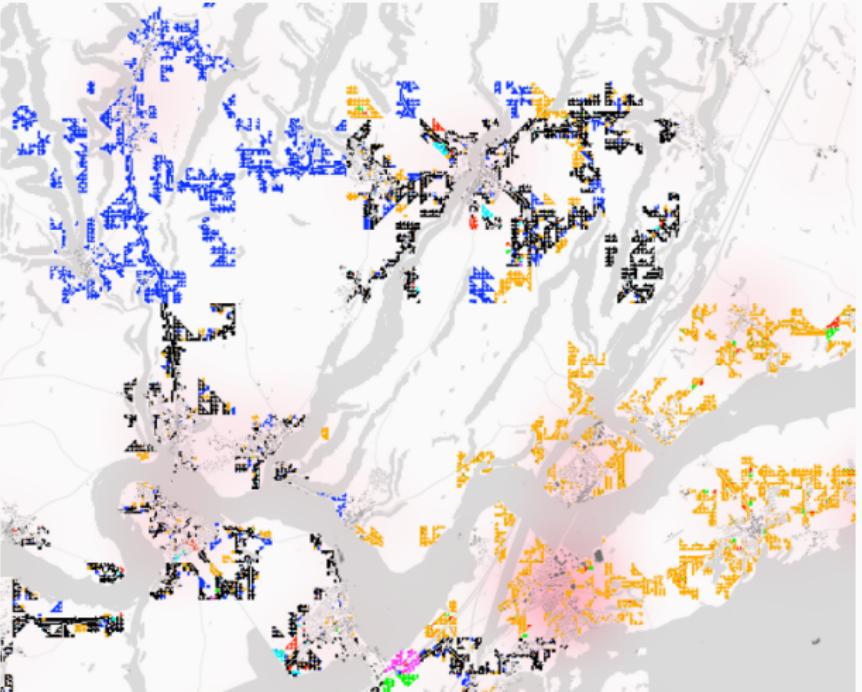
Validation

Expérimentation

Évaluation du fo

Utilisation thématique

Conclusion

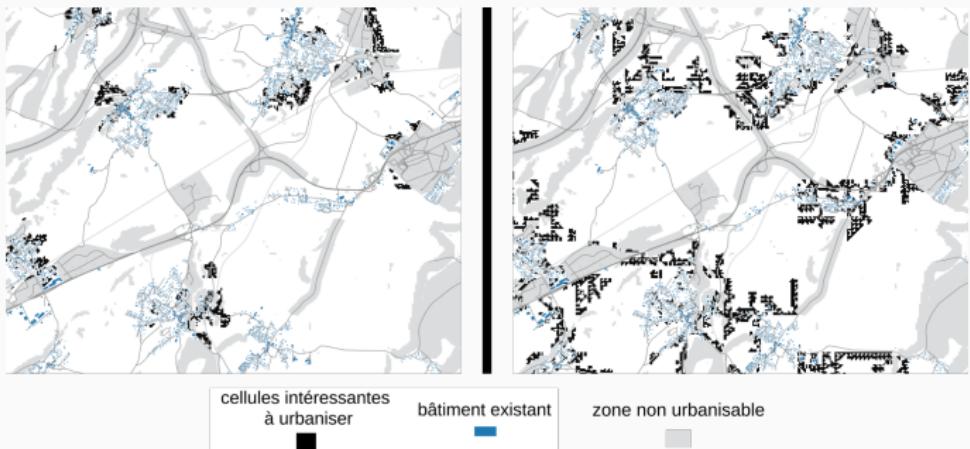


Exemple de différentes orientations poursuivies par le développement résidentiel

1. Intensité du développement résidentiel
2. Uniformité du développement résidentiel
3. Pondération des règles additionnelles d'aménagement
4. Aggrégation des règles additionnelles d'aménagement

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

Introduction
ArtiScale®
Parcel
SimPLU3D
Validation du fo
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fo
Utilisation thématique
Conclusion



exemple de différentes agrégations des règles additionnelles d'aménagement,
résultant en un scénario sélectionnant des cellules uniformément intéressantes à
urbaniser ou non

Validation de différentes configurations spatiales de MUP City

Validation du
Validation
Expérimentation
Évaluation du fo
Utilisation thématique
Conclusion

Indicateurs utilisés

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

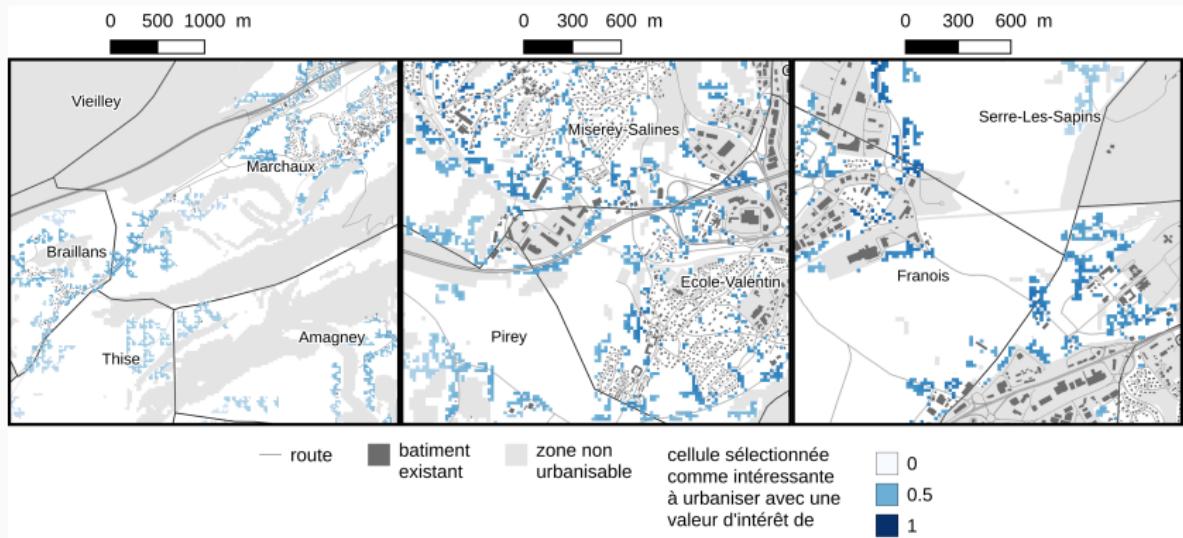
Validation de différentes configurations spatiales de MUP City

Introduction
Artificial
Neural
Parcel
SimPLU3D

Scénario d'étalement résidentiel

Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fo
Utilisation thématique
Conclusion

Scénario de développement résidentiel uniforme, peu intense et extensif :



Validation de différentes configurations spatiales de MUP City

Introduction

Articuler

Modéliser

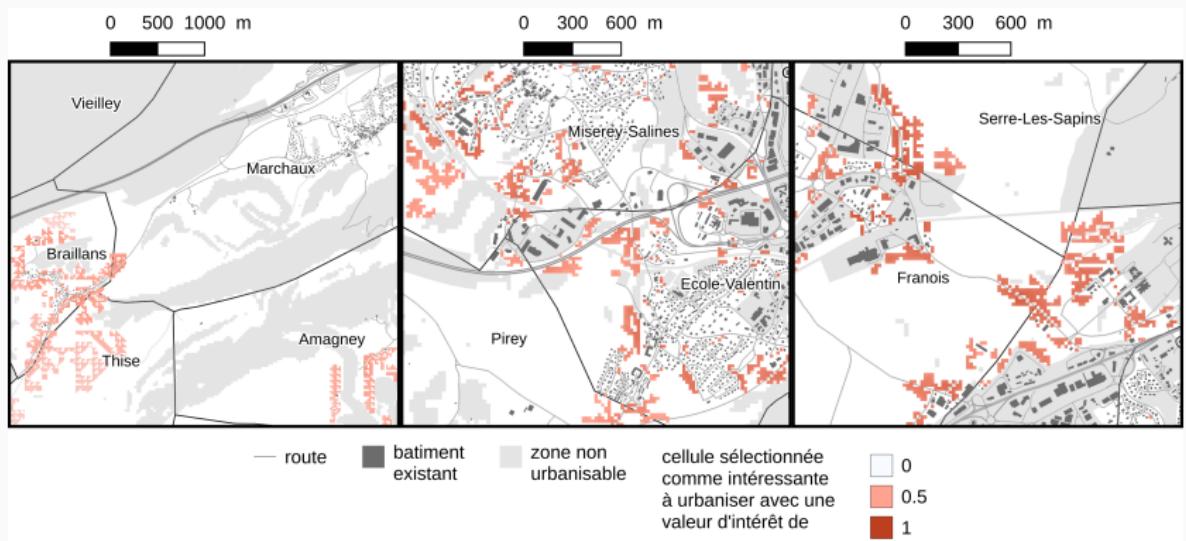
Parcel

SinPLU3D

Scénario d'extension résidentielle ciblée

Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fo
Utilisation thématique
Conclusion

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



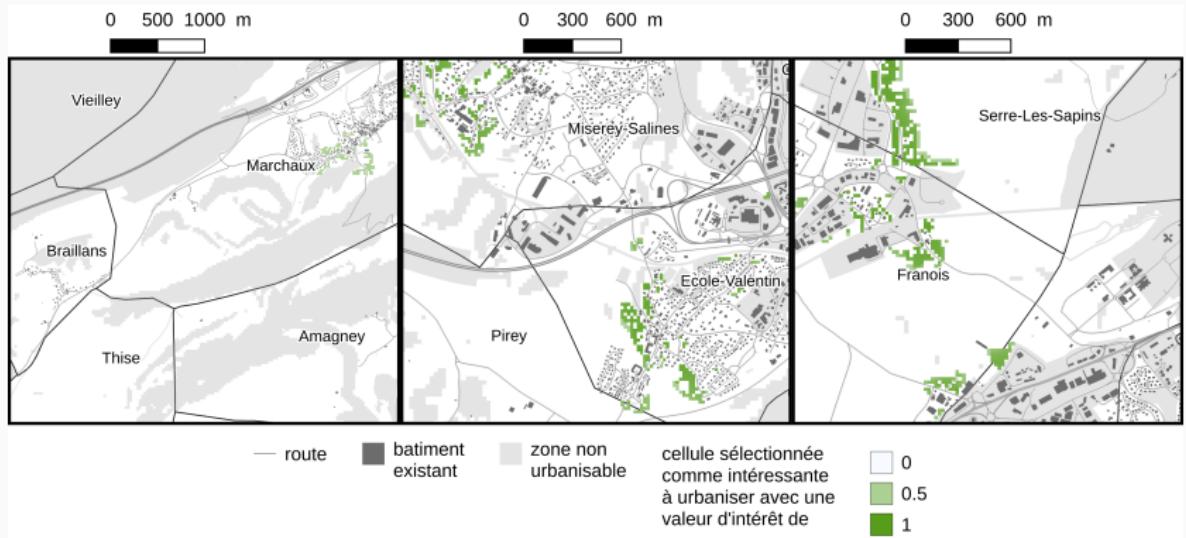
Validation de différentes configurations spatiales de MUP City

Introduction
Artificial
Modeling
Parcel
SimPLU3D

Scénario d'intensification de la densité résidentielle

Scénario de développement résidentiel peu extensif, uniforme et très intense :

Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fo
Utilisation thématique
Conclusion



Différentes catégories de **paramètres techniques** :

- Graine du générateur de nombres pseudo-aléatoires
- 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

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 variable selon d'autre paramètres techniques

Scénario d'extension résidentielle ciblée

- Potentiellement très variable du fait du **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 du fait du **caractère aléatoire**
- Localement très sensible à la position de la grille de décomposition

Conclusion

La variation de certains paramètres d'entrée n'ont pas les mêmes effets sur les sorties

Détections d'indicateurs pertinents à optimiser

Conclusion

La variation de certains paramètres d'entrée n'ont pas les mêmes effets sur les sorties

Détections d'indicateurs pertinents à optimiser

Plusieurs configurations résidentielles simulées

Différents scénarios de développement résidentiel

Différentes variantes de ces scénarios

Conclusion

La variation de certains paramètres d'entrée n'ont pas les mêmes effets sur les sorties

Détections d'indicateurs pertinents à optimiser

Plusieurs configurations résidentielles simulées

Différents scénarios de développement résidentiel

Différentes variantes de ces scénarios

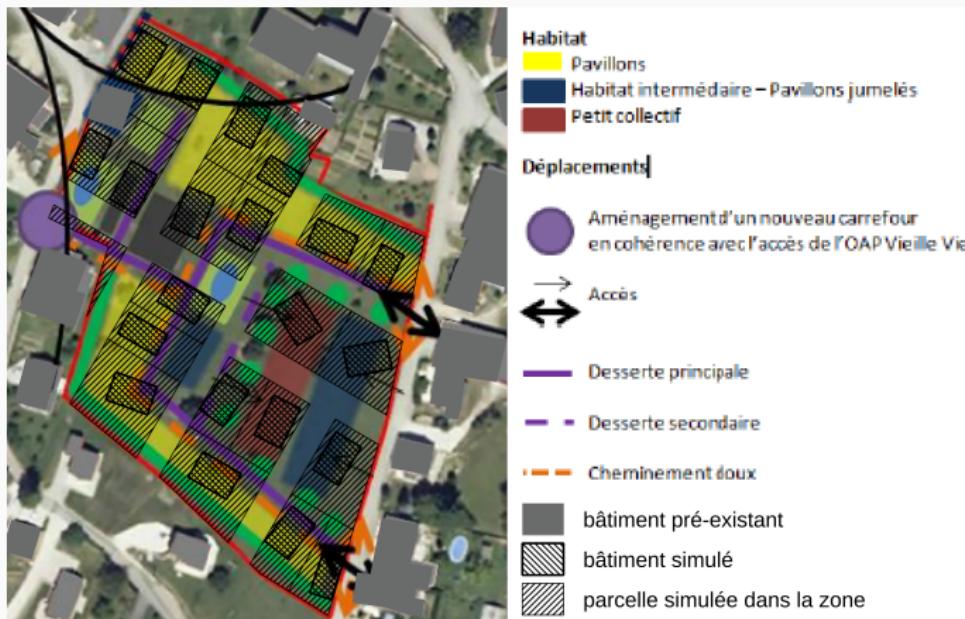
Validation thématique de ces scénarios

Validation du Parcel Manager

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

Comparaisons avec certaines opérations spéciales d'aménagement

Validation
Expérimentation
Évaluation du fo
Utilisation thématique
Conclusion



Validation de SimPLU3D

Étude des paramètres de SimPLU3D

- Étude du caractère aléatoire : très faible (*Brasebin, 2014*)
- Étude de l'effet des paramètres scénaristiques : (*Chapron et al, 2017*)

Étude des paramètres de SimPLU3D

- Étude du caractère aléatoire : très faible (*Brasebin, 2014*)
- Étude de l'effet des paramètres scénaristiques : (*Chapron et al, 2017*)
- Pour chaque bâtiments : estimations du nombre de logement et comparaison avec les attente pour le type de bâtiment
 - Rétro-calculation si incompatibilité
- **Validation thématique** de ces définitions de type de bâtiment

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 résidentiel

- 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 d'Artiscales

ArtiScales : Densité nette de logements par m^2

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation

Validation

Validation

Expérimentation

du

Utilisation

thématique

Conclusion



Table 1: 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 simulée pour le scénario :		étalement ciblé		intensification	
	Densité moyenne fixée par le SCoT	Densité moyenne observée	paramétrage dense	paramétrage modérément dense	paramétrage dense	paramétrage modérément dense
Ville centre	50	60	45	56	49	57
Communes périphériques	23	21	22	16	23	17
Communes relais	20	20	21	16	21	16
Communes équipées	15	12	16	14	17	15
Halte ferroviaire	20	18	43	17	26	16
Commune hors armature	13	13	18	15	19	16

Table 2: 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

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	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

En 4 ans : Production de logements en deçà des objectifs

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

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	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

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

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

A faire..

Plus de comparaisons ciblée de scénarios

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

Extrapolation du parcel manager

Utilisation thématique des résultats d'ArtiScales

Compatibilité entre les documents

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation

du

Validation

du

Validation

du

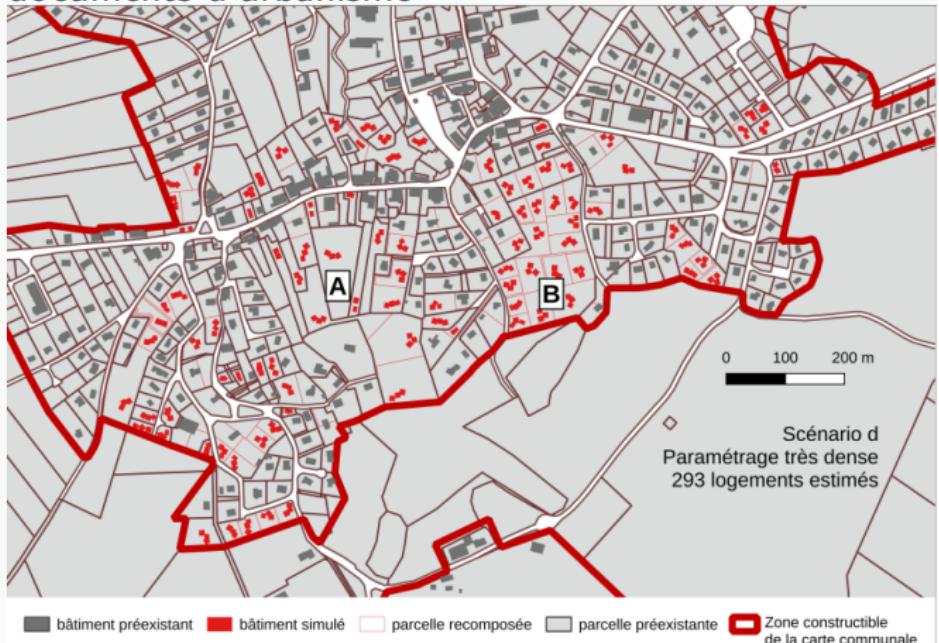
Expérimentation

Évaluation

du

Conclusion

Incompatibilité entre les objectifs de création de logements et les documents d'urbanisme



Incompatibilité entre les objectifs de création de logements et les documents d'urbanisme

carte d'une commune qui ne peut pas atteindre les objectifs

Compatibilité entre les documents

Introduction

ArtiScales

MUP-City

Parcel

SimPLU3D

Validation

du

Validation

du

Validation

Expérimentation

Évaluation du fonctionnement

Conclusion

Incompatibilité entre les objectifs de création de logements et les documents d'urbanisme

Possibilité de rétro-action :

Incompatibilité entre les objectifs de création de logements et les documents d'urbanisme

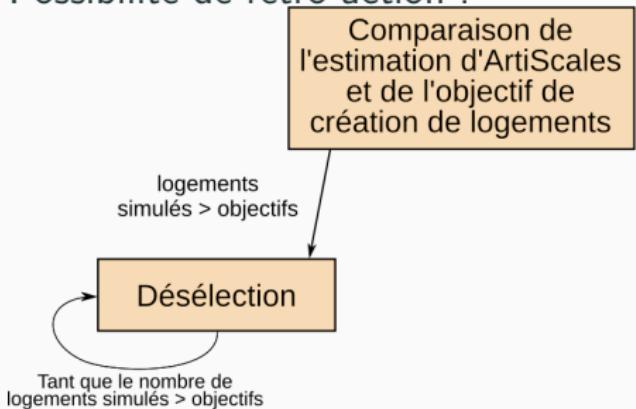
Conclusion

Possibilité de rétro-action :

Comparaison de
l'estimation d'ArtiScales
et de l'objectif de
création de logements

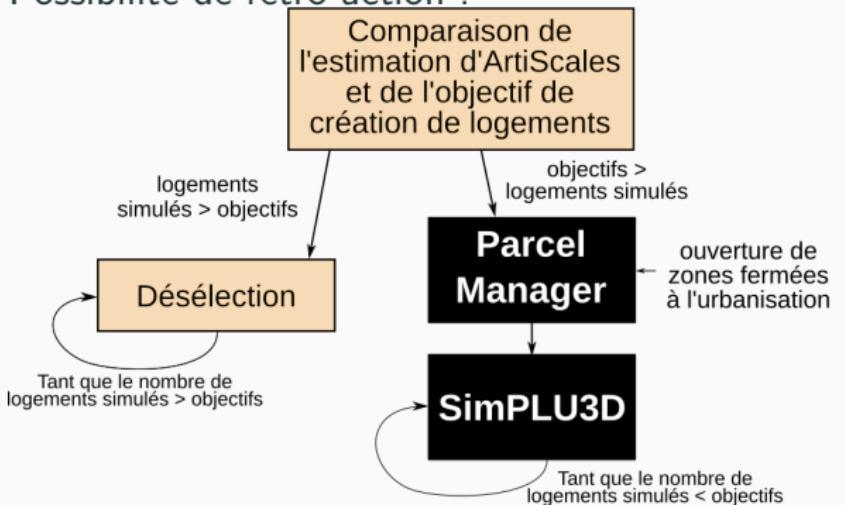
Incompatibilité entre les objectifs de création de logements et les documents d'urbanisme

Possibilité de rétro-action :



Incompatibilité entre les objectifs de création de logements et les documents d'urbanisme

Possibilité de rétro-action :



Communes sans zonage pré-défini \Rightarrow ouverture de l'urbanisation dans les *Parties Actuellement Urbanisée (PAU)*

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

Nécessite d'un zonage

carte d'une telle commune

Possibilité de génération automatique de Cartes Communales

Introduction
ArtiScapes
Modèle
Parcel
SimPLU3D
Validation du
Validation du
Validation du
Expérimentation
Évaluation du
Conclusion

Certaines communes n'ont pas de zonages et leur génération pourrait être automatisée :

Possibilité de génération automatique de Cartes Communales

Introduction
ArtiScapes
Modèle
Parcel
SimPLU3D
Validation du
Validation du
Validation du
Expérimentation
Évaluation du
Conclusion

Certaines communes n'ont pas de zonages et leur génération pourrait être automatisée :

- enveloppe des parcelles urbanisées

Possibilité de génération automatique de Cartes Communales

Introduction
ArtiScapes
Modèle
Parcel
SimPLU3D
Validation du
Validation du
Validation du
Expérimentation
Évaluation du
Conclusion

Certaines communes n'ont pas de zonages et leur génération pourrait être automatisée :

- enveloppe des parcelles urbanisées
- ajout des parcelles les plus intéressantes à urbaniser, tout en

Possibilité de génération automatique de Cartes Communales

Certaines communes n'ont pas de zonages et leur génération pourrait être automatisée :

- enveloppe des parcelles urbanisées
- ajout des parcelles les plus intéressantes à urbaniser, tout en
 - respectant les densités objectives et des objectifs de création de logements

Certaines communes n'ont pas de zonages et leur génération pourrait être automatisée :

- enveloppe des parcelles urbanisées
- ajout des parcelles les plus intéressantes à urbaniser, tout en
 - respectant les densités objectives et des objectifs de création de logements
 - certifiant un certain non-étalement urbain

Conclusion et perspectives

Simulateur hybride : couplage de **modèles génératifs** avec un **modèle stylisé** pour en faire un outil **opérationnel d'aide à la décision pour l'aménagement**

Résultats réalistes et plausibles au regard des évolutions du territoire

Utilisation de MUP-City :

- variabilité intéressante pour proposer différentes configurations résidentielles
- plus adapté à générer une extension résidentielle
- possibilité de compléter ce module ?

Utilisation de SimPLU3D :

- Optimisation de la simulation nécessaire
- Effet des paramètres techniques : potentiellement important (*soulevé par l'expérimentation de la thèse*)

- Création d'un modèle de développement résidentiel complexe
- Analyse de la variabilité des modules composant ce modèle
- Utilisation de cette variabilité pour proposer différentes orientations d'aménagement

Perspectives d'utilisation d'ArtiScales dans l'aide à la décision territoriale

Rendre variable certaines restrictions afin de rendre compatibles entre eux les règlements.

par exemple :

- Zonage (expérimenté dans la thèse)
- Articles du PLU (hauteur, retraits)
- Objectifs de la planification (création de logements, densité...)

Perspectives d'utilisation d'ArtiScales dans l'aide à la décision territoriale

Rendre variable certaines restrictions afin de rendre compatibles entre eux les règlements.

par exemple :

- Zonage (expérimenté dans la thèse)
- Articles du PLU (hauteur, retraits)
- Objectifs de la planification (création de logements, densité...)

Mise en œuvre opérationnelle dans le cadre d'un contrat post-doctoral sur le PLU intercommunal de Besançon

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 résidentiel

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

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

Merci pour votre attention

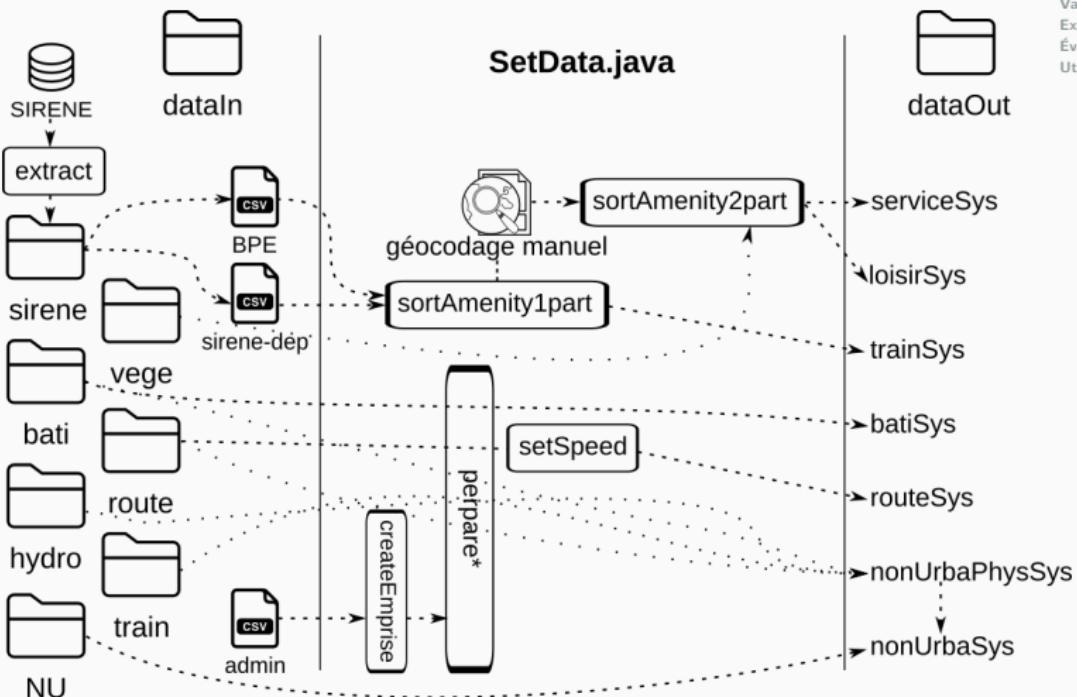
Everything we do is open source

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

Validation du

Validation du

Validation

Expérimentation

Évaluation du fo

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

Validation

du

Validation

du

Validation

du

Expérimentation

Évaluation du fo

Utilisation thématique

Documentation

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%

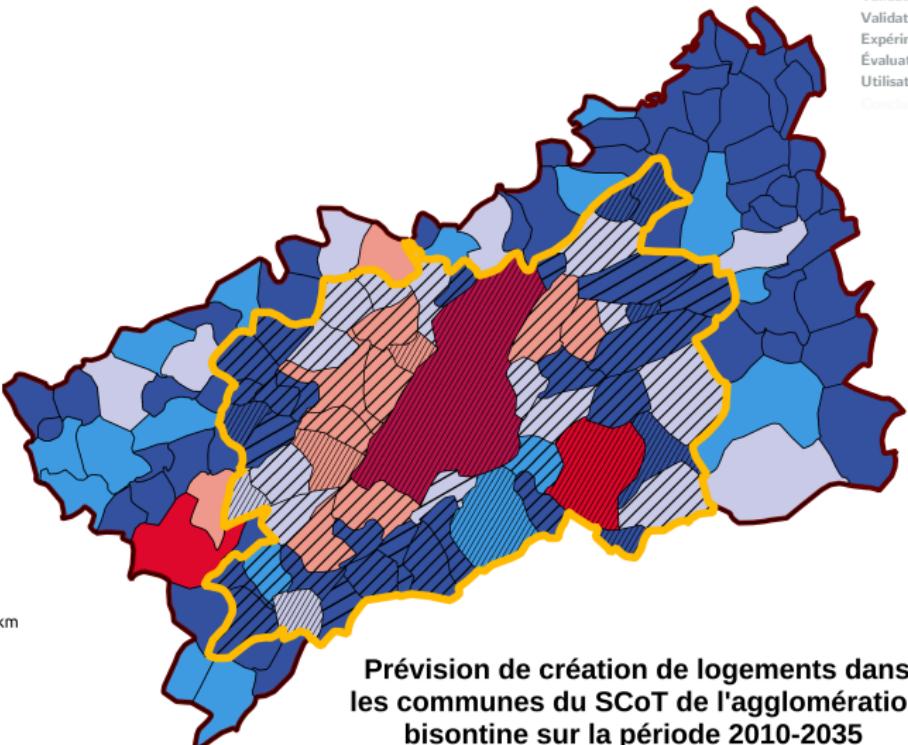
/ / / / 25% - 35%

/ / / / 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

Validation

Validation

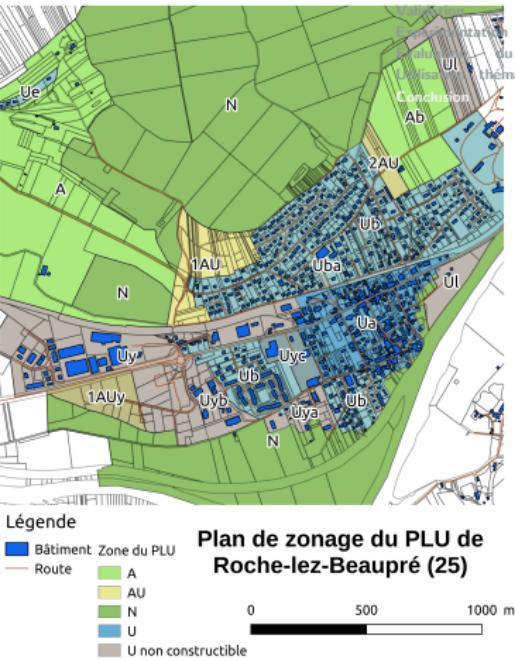
du

du

fo

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

Validation

du

Validation

du

Validation

Expérimentation

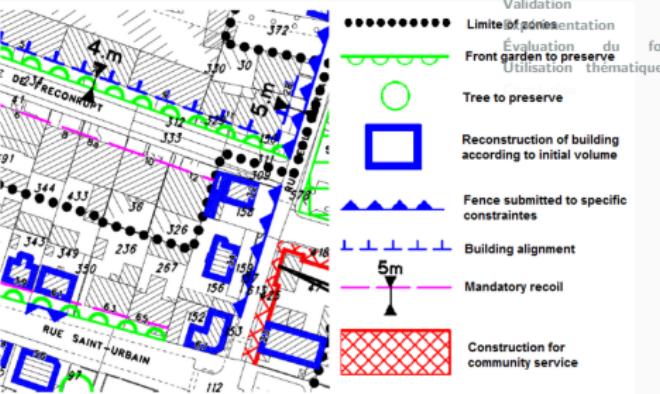
Évaluation du fo

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)

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

Validation

du

Validation

du

Validation

Expérimentation

Évaluation du fo

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
Validation du
Validation du
Validation du
Expérimentation
Évaluation du fo
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
Validation
Validation
Validation
Expérimentation
Évaluation du fo
Utilisation thématique

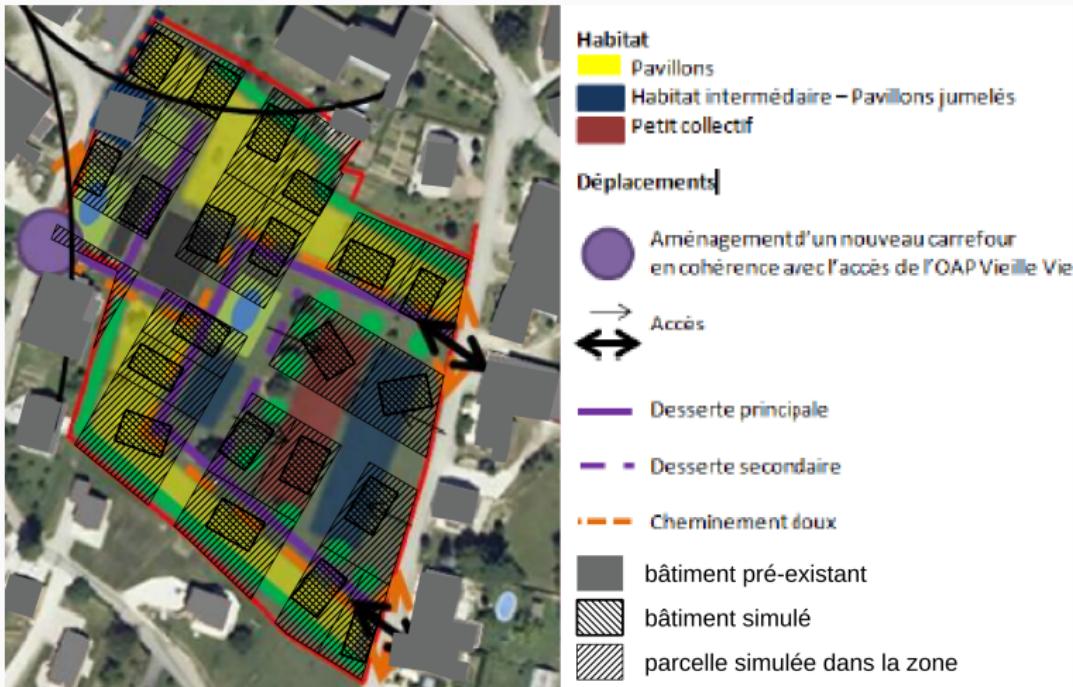


Illustration superposant l'OAP du *Champ Sera à La Tour De Say* (25640) et les résultats de la simulation provenant du scénario c avec le paramétrage induisant une forte densité

Sélection parcellaire et consommation foncière

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

Table 3: Consommation foncière des différents scénarios

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

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