

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

2019-09-24

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

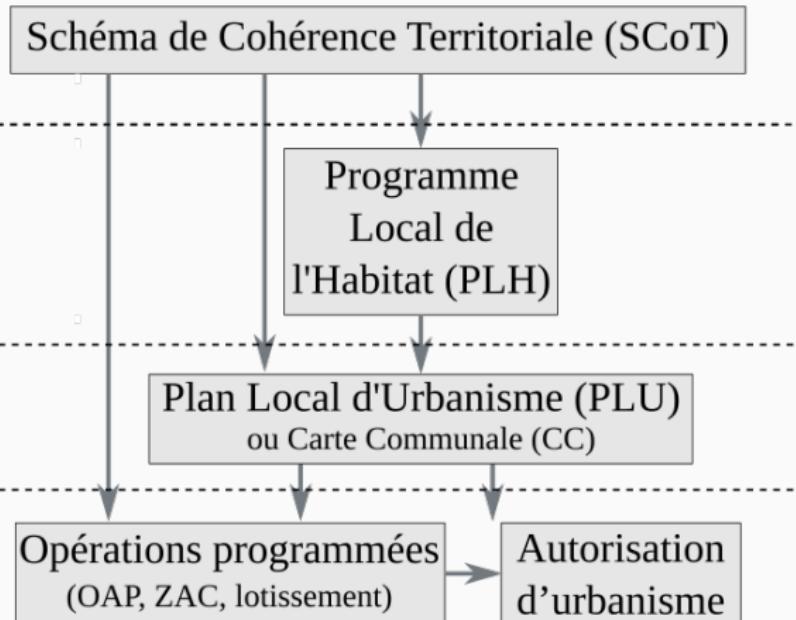
Échelle du bassin
de vie

Échelle inter-
communale

Échelle
communale

Échelle parcellaire

Document d'aménagement



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

Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT)

Programme
Local de
l'Habitat (PLH)

Plan Local d'Urbanisme (PLU)
ou Carte Communale (CC)

Opérations programmées
(OAP, ZAC, lotissement)

Autorisation
d'urbanisme

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

Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT)

Programme
Local de
l'Habitat (PLH)

Plan Local d'Urbanisme (PLU)
ou Carte Communale (CC)

Opérations programmées
(OAP, ZAC, lotissement)

Autorisation
d'urbanisme

Divers documents d'aménagement réglementant l'extension résidentielle

Échelle
Administrative

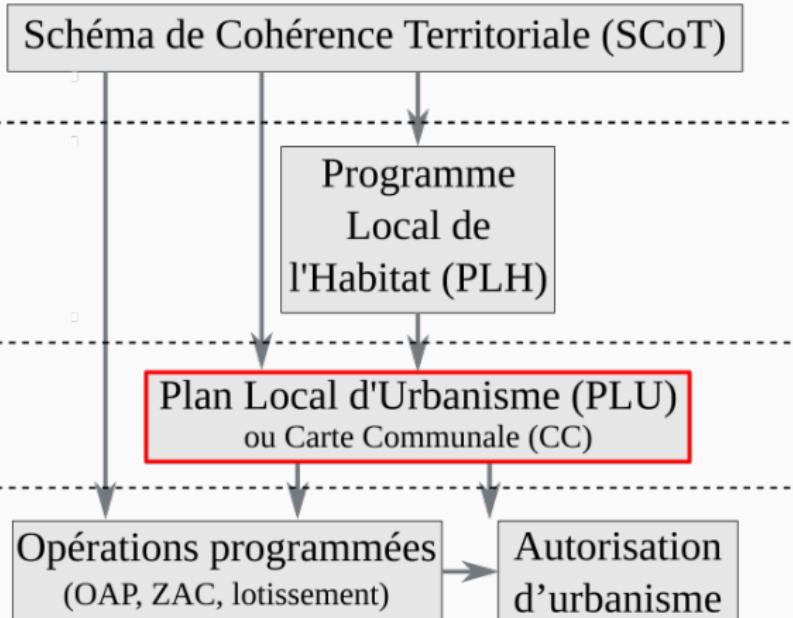
Échelle du bassin
de vie

Échelle inter-
communale

Échelle
communale

Échelle parcellaire

Document d'aménagement



Divers documents d'aménagement réglementant l'extension résidentielle

Échelle
Administrative

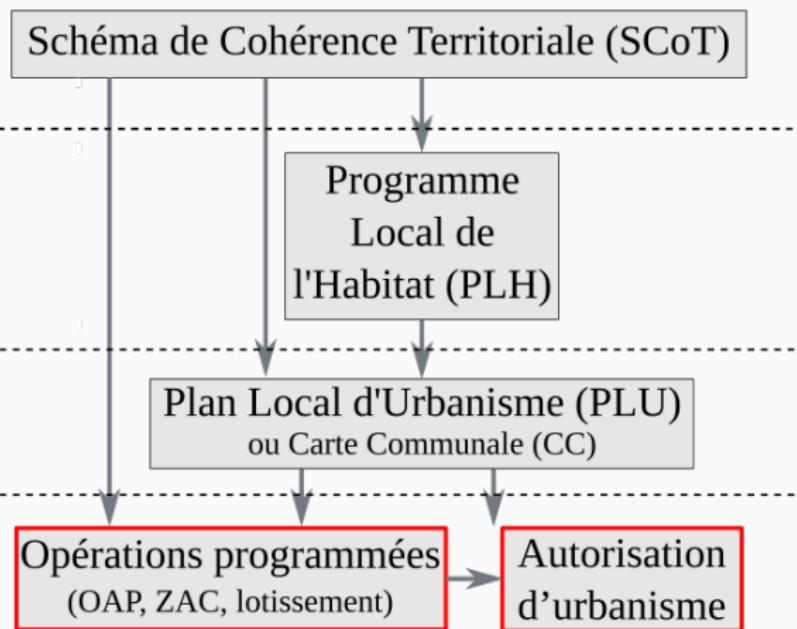
Échelle du bassin
de vie

Échelle inter-
communale

Échelle
communale

Échelle parcellaire

Document d'aménagement



Différents types de contraintes réglementaires

Type de contrainte Échelle	Zone non urbanisable	Emplacement du développement résidentiel	Type des bâtiments	Type des logements
Bassin de vie	Artificialisation Trames vertes et bleues	Orientation générale	Densification	
Inter-communale	Prévention des risques	Accessibilité	Type des opérations de construction	Objectif de création de logements
Communale	Zonage	Règlement		
Parcellaire			Opérations spéciales d'aménagement	

Différents types de contraintes réglementaires

Type de contrainte Échelle	Zone non urbanisable	Emplacement du développement résidentiel	Type des bâtiments	Type des logements
Bassin de vie	Artificialisation Trames vertes et bleues	Orientation générale	Densification	
Inter-communale	Prévention des risques	Accessibilité	Type des opérations de construction	Objectif de création de logements
Communale	Zonage	Règlement		
Parcellaire			Opérations spéciales d'aménagement	

Différents types de contraintes réglementaires

Type de contrainte Échelle	Zone non urbanisable	Emplacement du développement résidentiel	Type des bâtiments	Type des logements
Bassin de vie	Artificialisation Trames vertes et bleues	Orientation générale	Densification	
Inter-communale	Prévention des risques	Accessibilité	Type des opérations de construction	Objectif de création de logements
Communale	Zonage		Règlement	
Parcellaire			Opérations spéciales d'aménagement	



- Différents **rédacteurs** des documents de planification et d'urbanisme
- Objectifs divers
- Différentes **échelles** d'application du développement résidentiel
- Effets incertains de chaque document
- Combinaisons potentiellement **contradictoires**

- Différents **rédacteurs** des documents de planification et d'urbanisme
- Objectifs divers
- Différentes **échelles** d'application du développement résidentiel
- Effets incertains de chaque document
- Combinaisons potentiellement **contradictoires**

Modéliser l'articulation de ces contraintes pour tester leurs combinaisons

Objectifs

- Évaluer le développement résidentiel à différents niveaux d'échelle et selon les contraintes issues de la réglementation

Objectifs

- Évaluer le développement résidentiel à différents niveaux d'échelle et selon les contraintes issues de la réglementation
- Exprimer divers objectifs de la planification :

Objectifs de la modélisation

Objectifs

- Évaluer le développement résidentiel à différents niveaux d'échelle et selon les contraintes issues de la réglementation
- Exprimer divers objectifs de la planification :
 - La création de logements

Objectifs de la modélisation

Objectifs

- Évaluer le développement résidentiel à différents niveaux d'échelle et selon les contraintes issues de la réglementation
- Exprimer divers objectifs de la planification :
 - La création de logements
 - La densité de logements par hectare

Objectifs

- Évaluer le développement résidentiel à différents niveaux d'échelle et selon les contraintes issues de la réglementation
- Exprimer divers objectifs de la planification :
 - La création de logements
 - La densité de logements par hectare
 - L'accessibilité (aux transports en communs, ...)

Objectifs de la modélisation

Objectifs

- Évaluer le développement résidentiel à différents niveaux d'échelle et selon les contraintes issues de la réglementation
- Exprimer divers objectifs de la planification :
 - La création de logements
 - La densité de logements par hectare
 - L'accessibilité (aux transports en communs, ...)

Moyens

- Représentation des états intermédiaires non nécessaires

Objectifs de la modélisation

Objectifs

- Évaluer le développement résidentiel à différents niveaux d'échelle et selon les contraintes issues de la réglementation
- Exprimer divers objectifs de la planification :
 - La création de logements
 - La densité de logements par hectare
 - L'accessibilité (aux transports en communs, ...)

Moyens

- Représentation des états intermédiaires non nécessaires
- Pas de reproduction des phénomènes antérieurs

Objectifs de la modélisation

Objectifs

- Évaluer le développement résidentiel à différents niveaux d'échelle et selon les contraintes issues de la réglementation
- Exprimer divers objectifs de la planification :
 - La création de logements
 - La densité de logements par hectare
 - L'accessibilité (aux transports en communs, ...)

Moyens

- Représentation des états intermédiaires non nécessaires
- Pas de reproduction des phénomènes antérieurs

Requis

- Solutions libres et open-source pour une recherche **vérifiable** et **reproductible**

Objectifs de la modélisation

Objectifs

- Évaluer le développement résidentiel à différents niveaux d'échelle et selon les contraintes issues de la réglementation
- Exprimer divers objectifs de la planification :
 - La création de logements
 - La densité de logements par hectare
 - L'accessibilité (aux transports en communs, ...)

Moyens

- Représentation des états intermédiaires non nécessaires
- Pas de reproduction des phénomènes antérieurs

Requis

- Solutions libres et open-source pour une recherche **vérifiable** et **reproductible**

Les modèles d'**occupation du sol** (Batty 97, Arentze 08, Mustapha 18).

- Simulation changement d'état et l'urbanisation
- Mettre en œuvre de multiples techniques (automates cellulaires, systèmes multi-agents, aide à la décision multi-critère...)

Inconvénients :

- Espace géographique simplifié
- Peu de place pour la prise en compte des réglementations
- Souvent calibrés sur des dynamiques passées

Les modèles d'**étude du marché immobilier** (UrbanSimul ()) permettent de :

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

Inconvénients :

- Résultats dépendant principalement du marché et non des objectifs de la planification
- Peu adaptés pour représenter la complexité des mécanismes multi-échelles d'un développement résidentiel

État de l'art des modèles génératifs de développements résidentiels

Introduction
ArtiScales
Les
Expérimentation d'ArtiScales
Conclusion

Génération d'îlots urbains

- Processus géo-historiques GeOpenSim (Perret 2010)

État de l'art des modèles génératifs de développements résidentiels

Introduction
ArtiScales
les
Expérimentation d'ArtiS
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
Les
Expérimentation d'ArtiScales
Conclusion

Génération de bâtiments

- Génération procédurale (BIM)
- Génération paramétrique (Coors 2009)
- Optimisation sous contrainte (Brasebin 2014)

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

Introduction
ArtiScales
Modélisation des
Expérimentation d'ArtiScales
Conclusion

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

Inconvénients :

- Simulations très dynamiques
- Modélisation des mobilités non nécessaires 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

Inconvénients :

- Simulations très dynamiques
- Modélisation des mobilités non nécessaires à notre problème

Approches du couplage du modèle en phase avec mes objectifs agissant à **différentes échelles**

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 ?

Développer un **outil d'aide à la décision** pour l'aménagement,
couplant différentes approches de simulation du développement
résidentiel, appelé **ArtiScales**

Objectifs

Modélise **un ou plusieurs phénomènes** réels

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

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

Plan de la présentation

Introduction
ArtiScales
Validation des
Expérimentation d'ArtiScales
Conclusion

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

ArtiScales

Création d'un modèle de développement résidentiel :

- réaliste
- multi-échelle
- soumis aux contraintes d'aménagements isolées
- ouvert

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

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

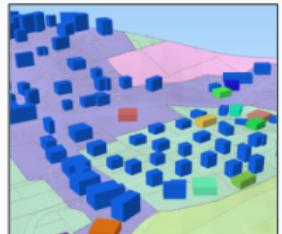


Simulation d'un nombre et d'un type
de logements

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

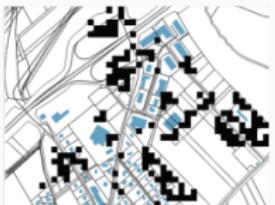
SimPLU3D

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

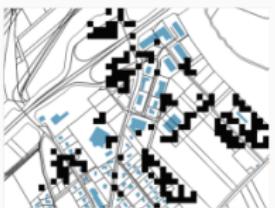
Simulation d'un nombre et d'un type de logements



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



Cellules d'environ 20 mètres de côté

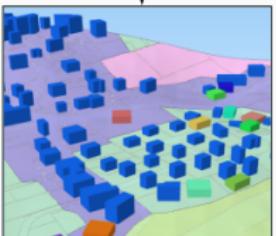


Simulation de bâtiments contraints par les règlements d'urbanisme sur certaines parcelles

Parcelle d'entrée



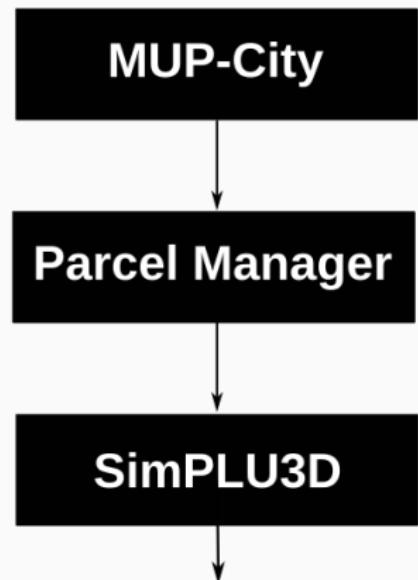
Simulation d'un nombre et d'un type de logements



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



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

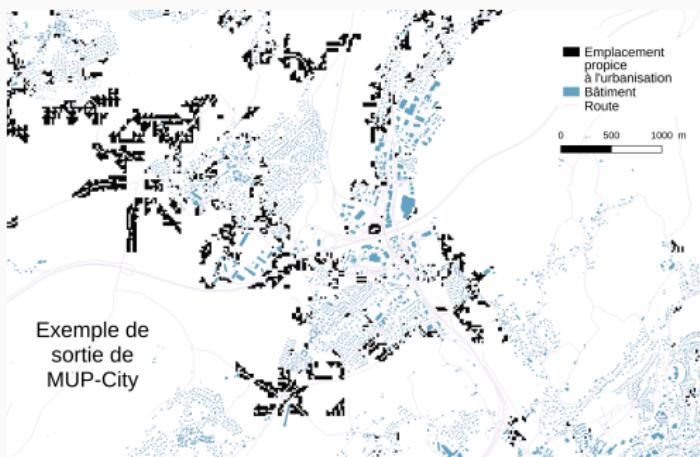


ArtiScales

MUP-City

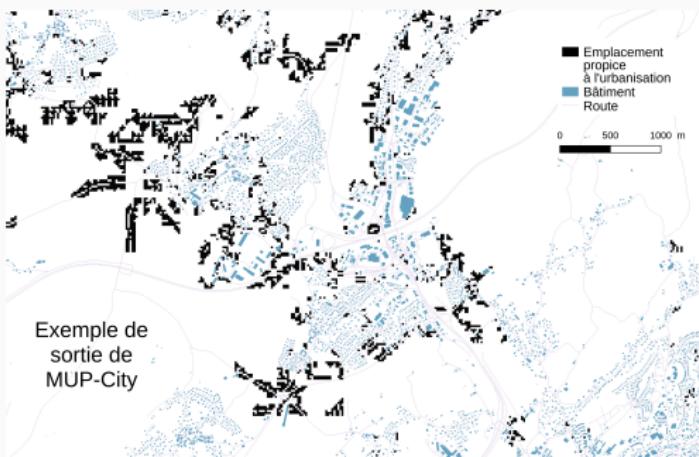


- Propose une **organisation spatiale locale** de développement résidentiel pour une **région urbaine**



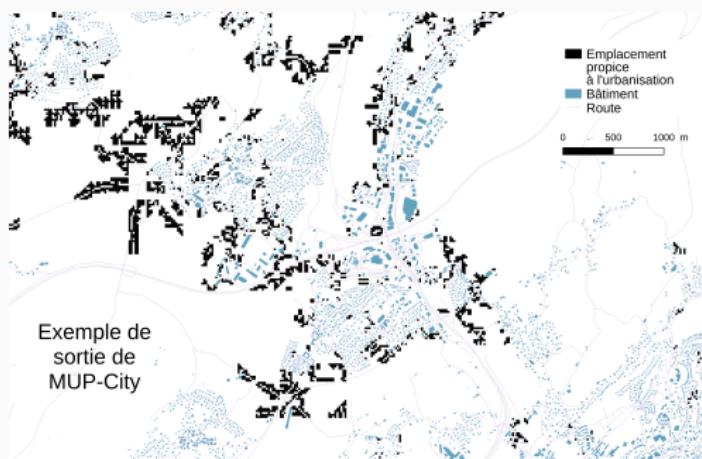


- Propose une **organisation spatiale locale** de développement résidentiel pour une **région urbaine**
 - organisation fractale





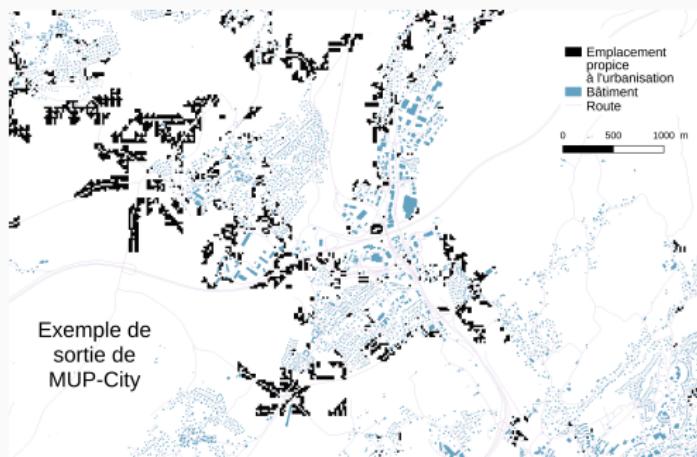
- Propose une **organisation spatiale locale** de développement résidentiel pour une **région urbaine**
 - organisation fractale
 - accessibilité à diverses aménités



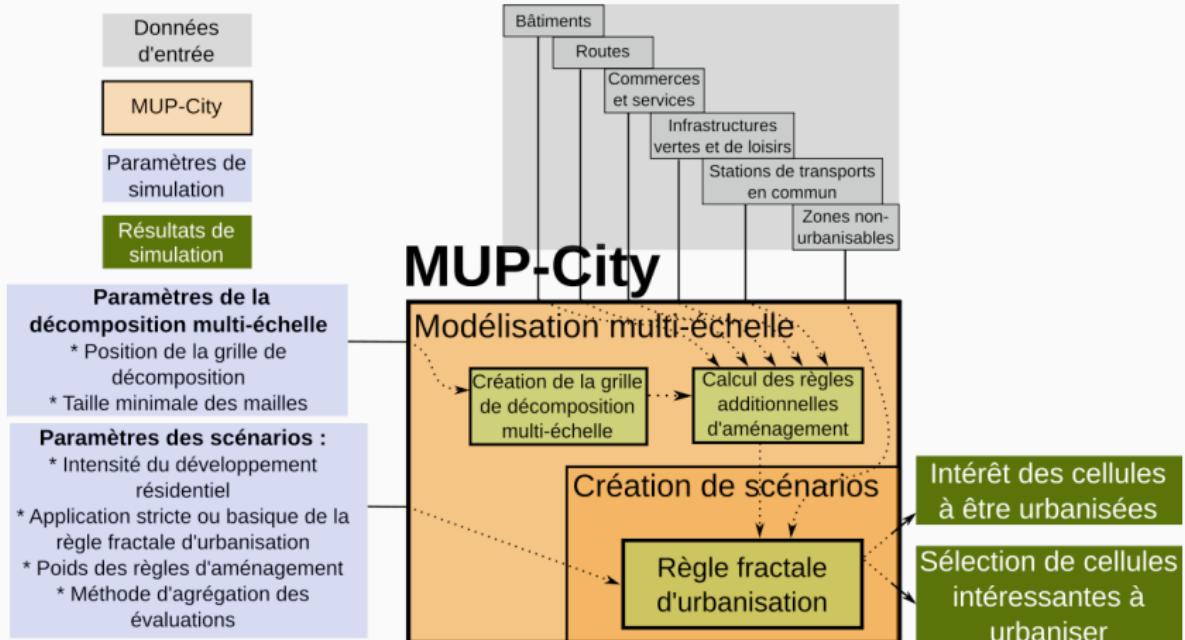
MUP-City : principes et objectifs



- 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



Variabilité de 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

ArtiScales

Parcel Manager

Parcel Manager



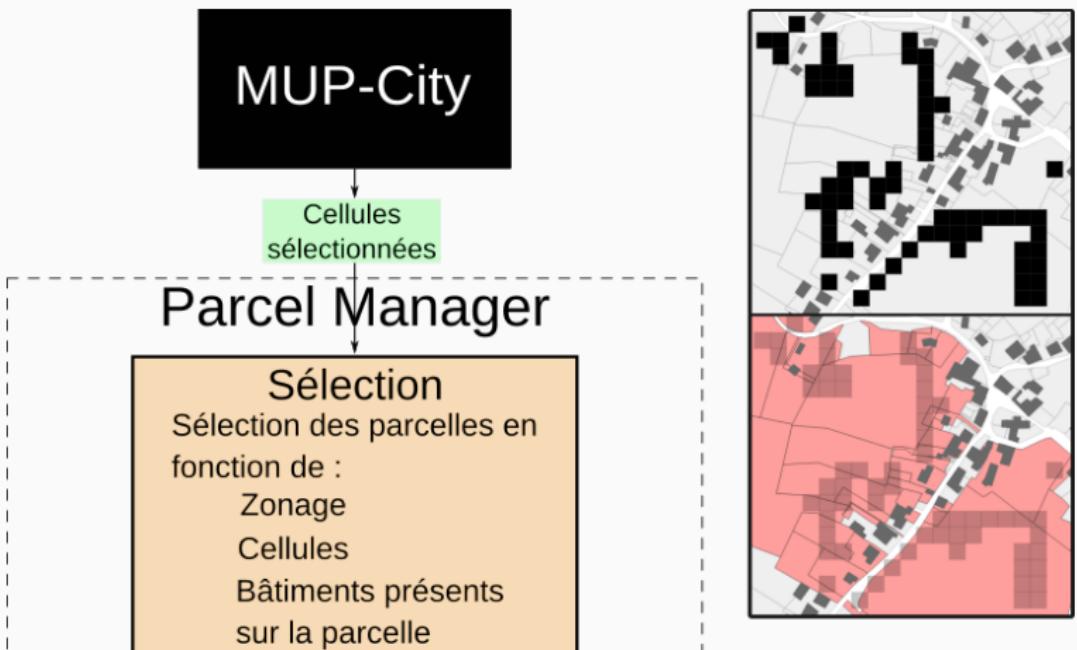
MUP-City

Cellules
sélectionnées

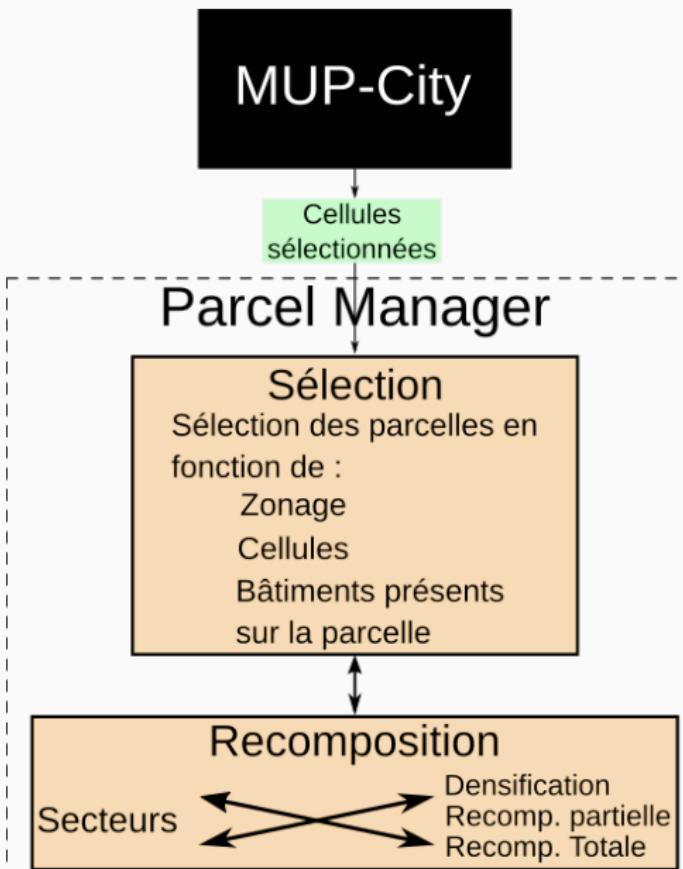
Parcel Manager



Présentation du modèle

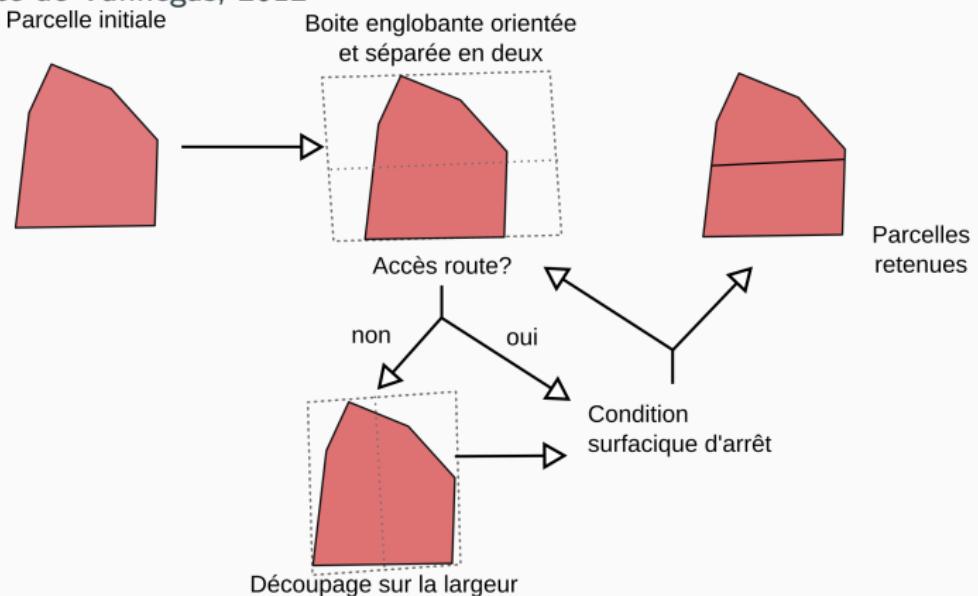


Présentation du modèle

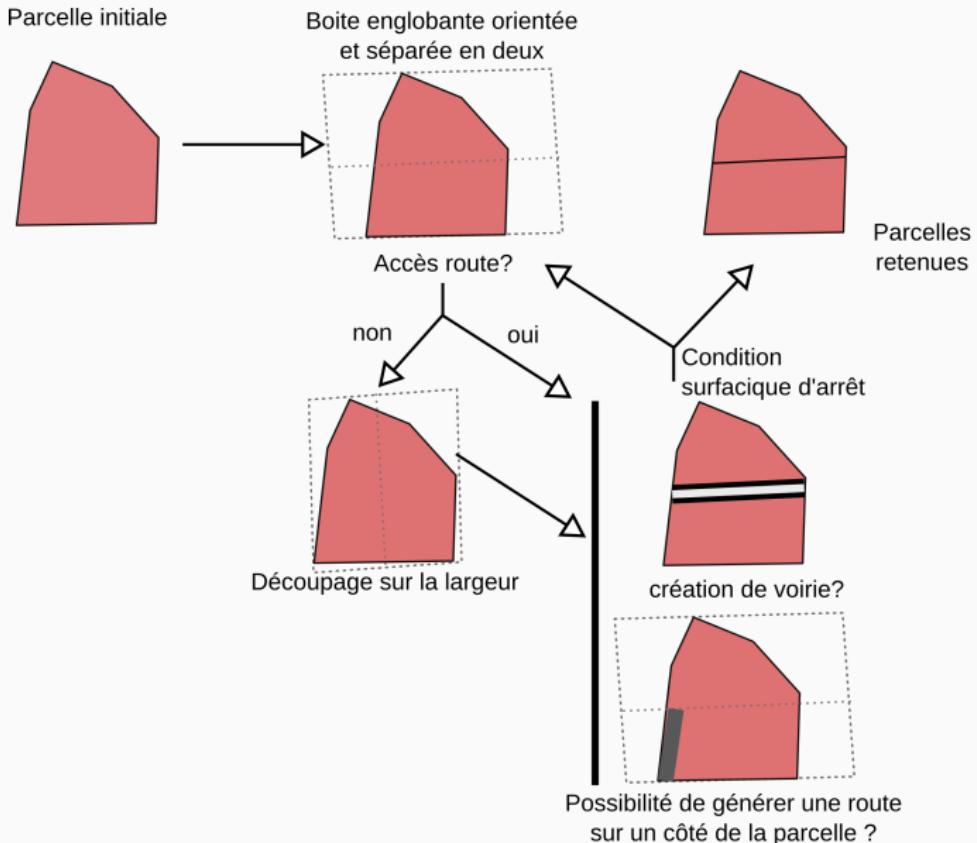


Algorithme de découpage parcellaire

Adapté de Vannegas, 2012

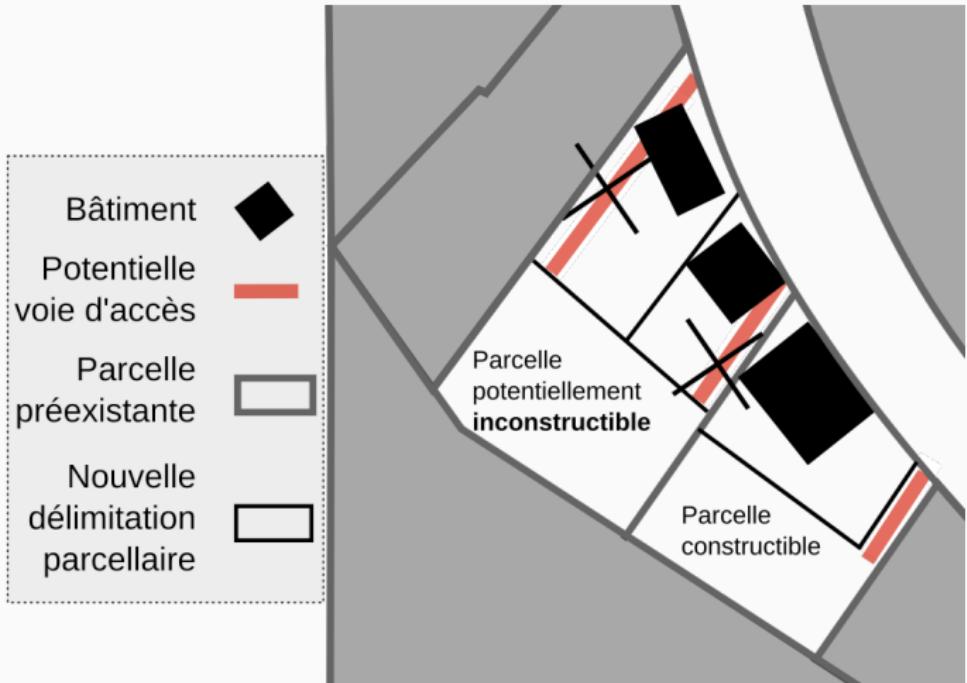


Algorithme de découpage parcellaire



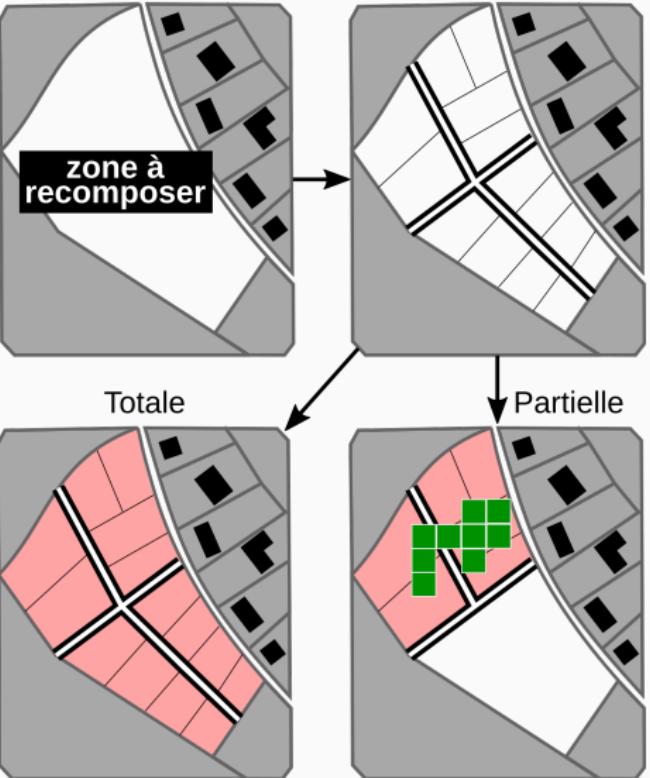
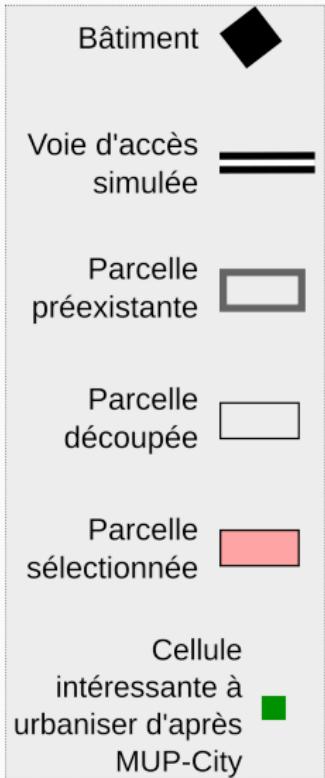
- Densification
- Recomposition parcellaire totale
- Recomposition parcellaire partielle

Densification



- Densification
- Recomposition parcellaire totale
- Recomposition parcellaire partielle

Recomposition parcellaire totale

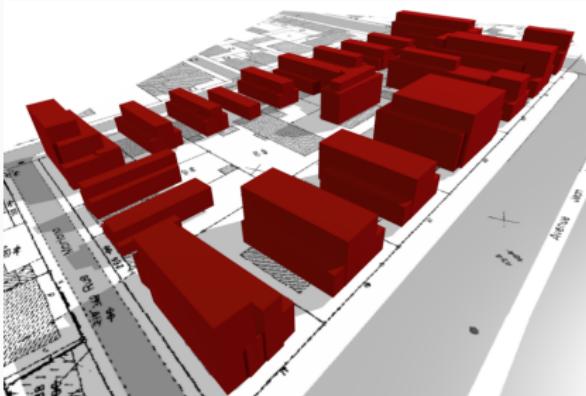


ArtiScales

SimPLU3D

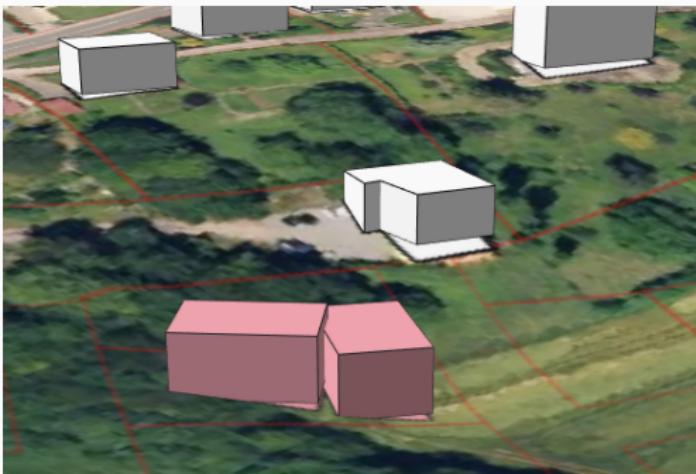
SimPLU3D

- Génère un ensemble de bâtiments selon
 - les **contraintes réglementaires**
 - un type de forme prédéterminé
- 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 :

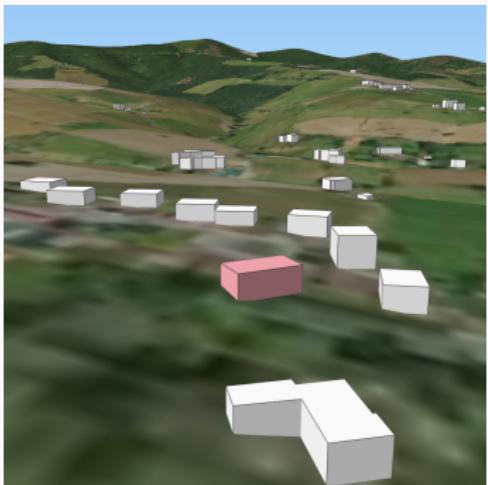
Maison isolée



[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 :

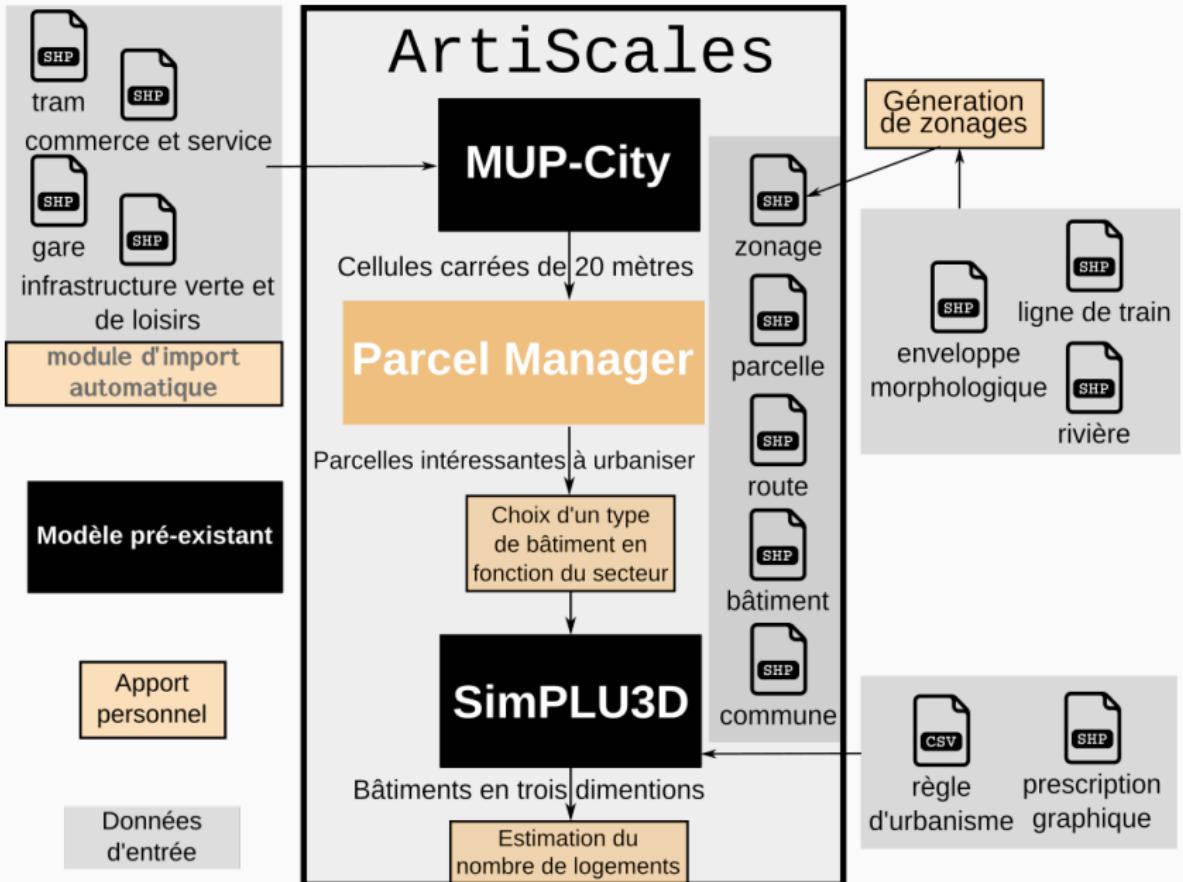
Immeuble collectif de taille moyenne



[30 – 60] logements

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

Construction du modèle ArtiScales



Validation des modules d'ArtiScales

Validation des modules d'Artiscales

Validation du modèle MUP-City

Principes

Analyser la variation des résultats de simulation d'un modèle

Rechercher de la source de cette variabilité

Principes

Analyser la variation des résultats de simulation d'un modèle

Rechercher de la source de cette variabilité

Objectifs

Évaluer la **fiabilité** des résultats de simulation

Sélectionner de **configurations résidentielles** à exploiter

Principes

Analyser la variation des résultats de simulation d'un modèle

Rechercher de la source de cette variabilité

Objectifs

Évaluer la **fiabilité** des résultats de simulation

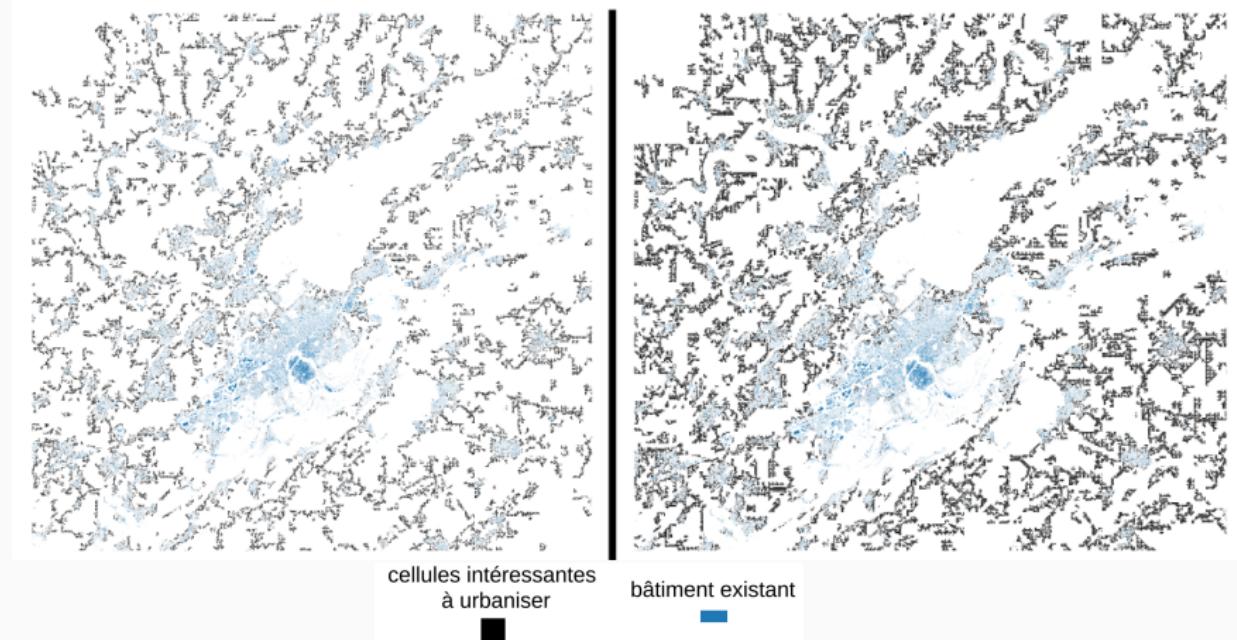
Sélectionner de **configurations résidentielles** à exploiter

Approche

Étude des paramètres dits **techniques** différencié des paramètres dits **scénaristiques**

1. Intensité du développement résidentiel

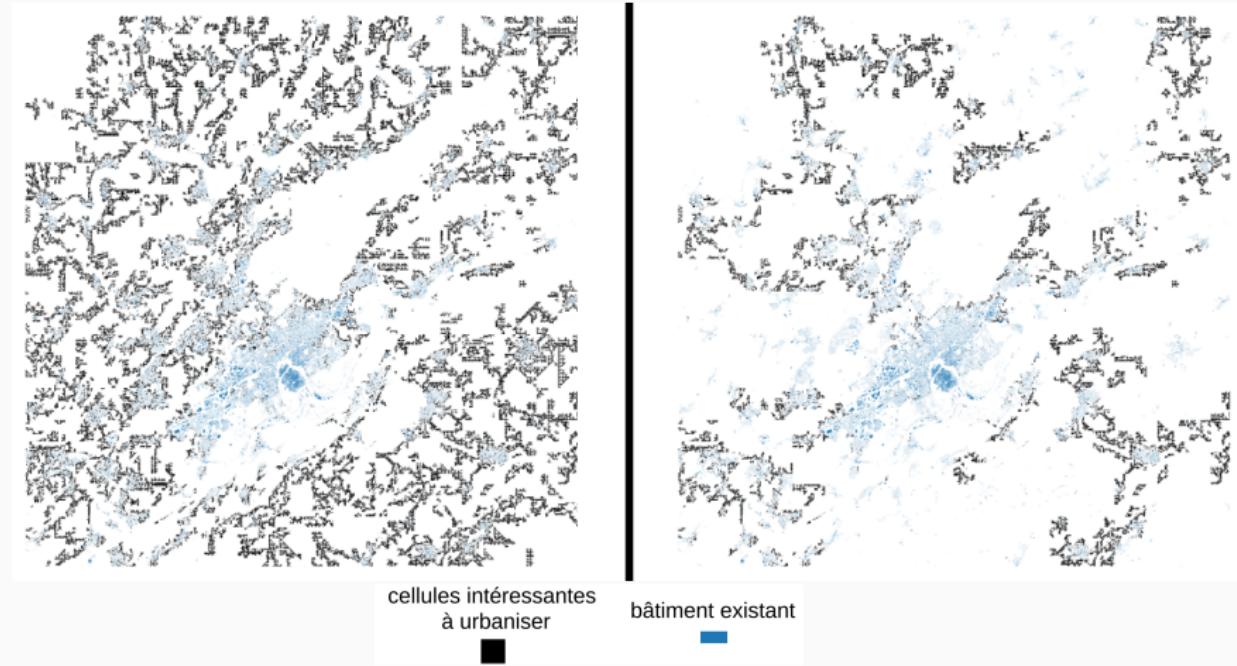
MUP-City : intensité du développement résidentiel



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

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

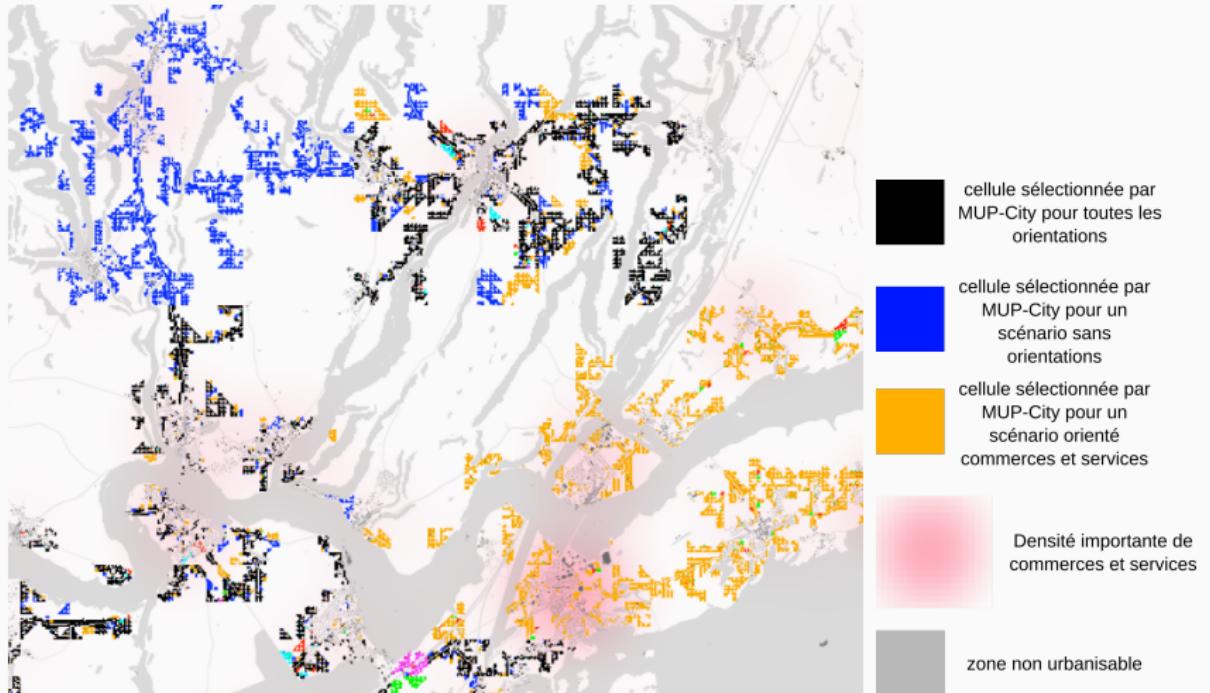
MUP-City : uniformité du développement résidentiel



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**

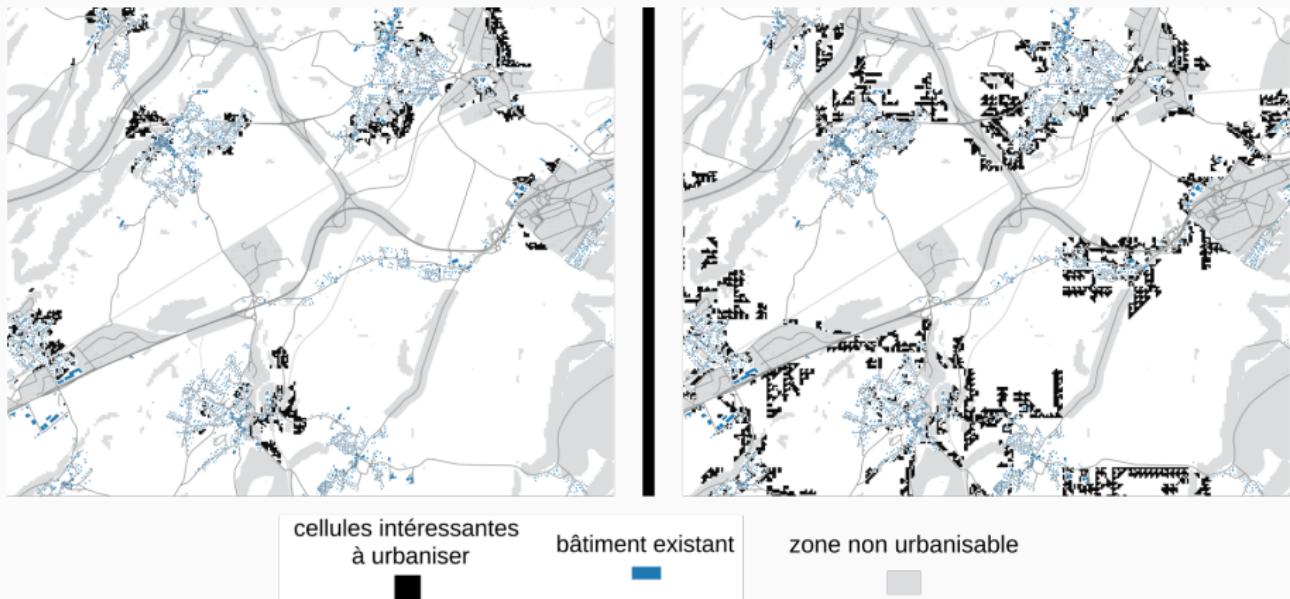
MUP-City : orientation du développement résidentiel



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



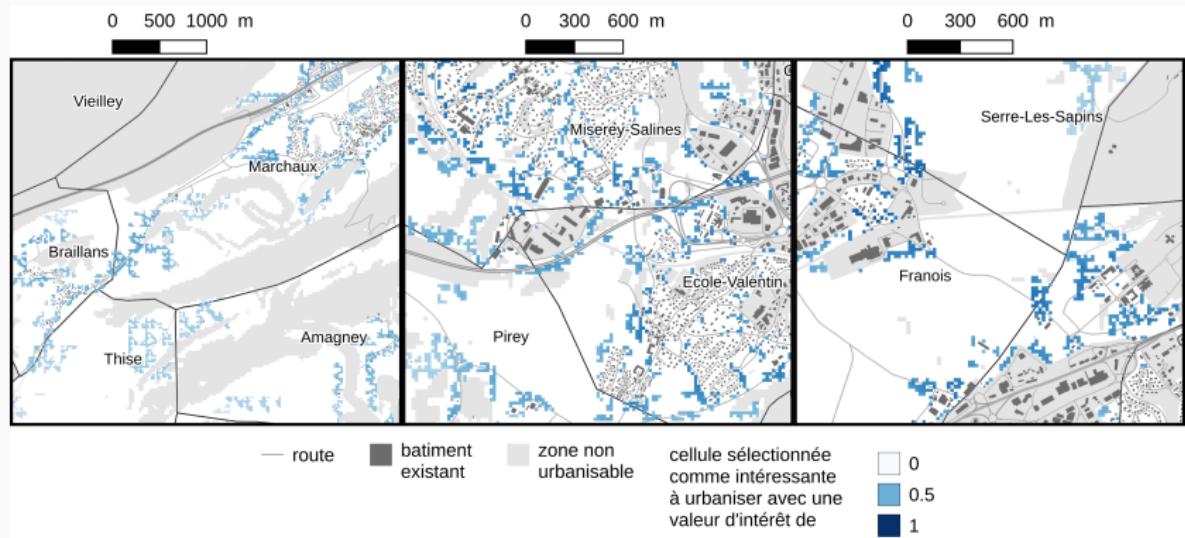
Indicateurs utilisés

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

Validation de différentes configurations spatiales de MUP City

Scénario d'étalement résidentiel

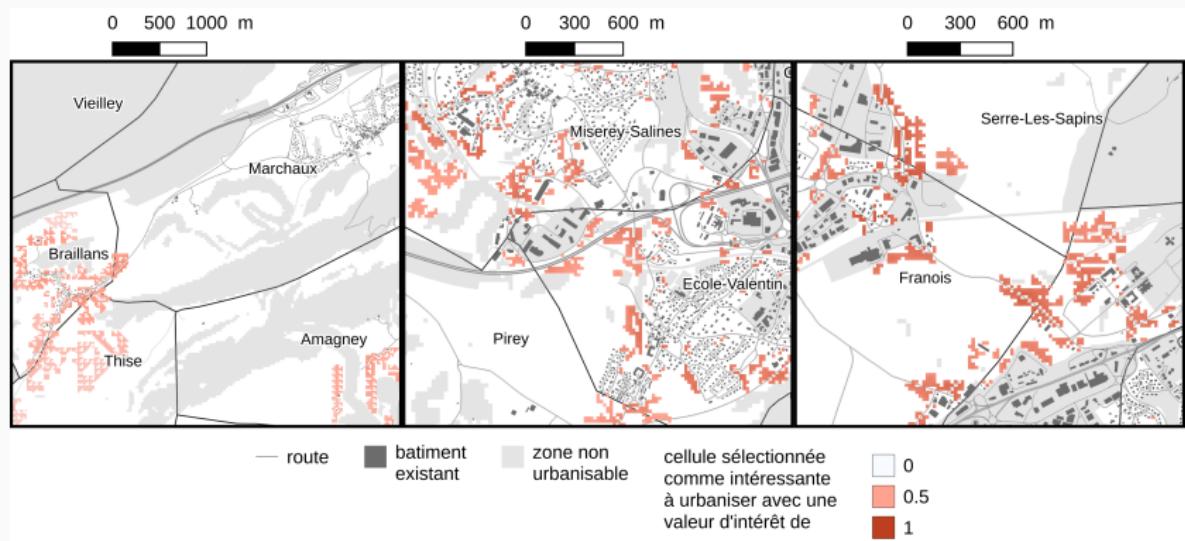
Scénario de développement résidentiel **uniforme**, peu intense et extensif :



Validation de différentes configurations spatiales de MUP City

Scénario d'extension résidentielle ciblée

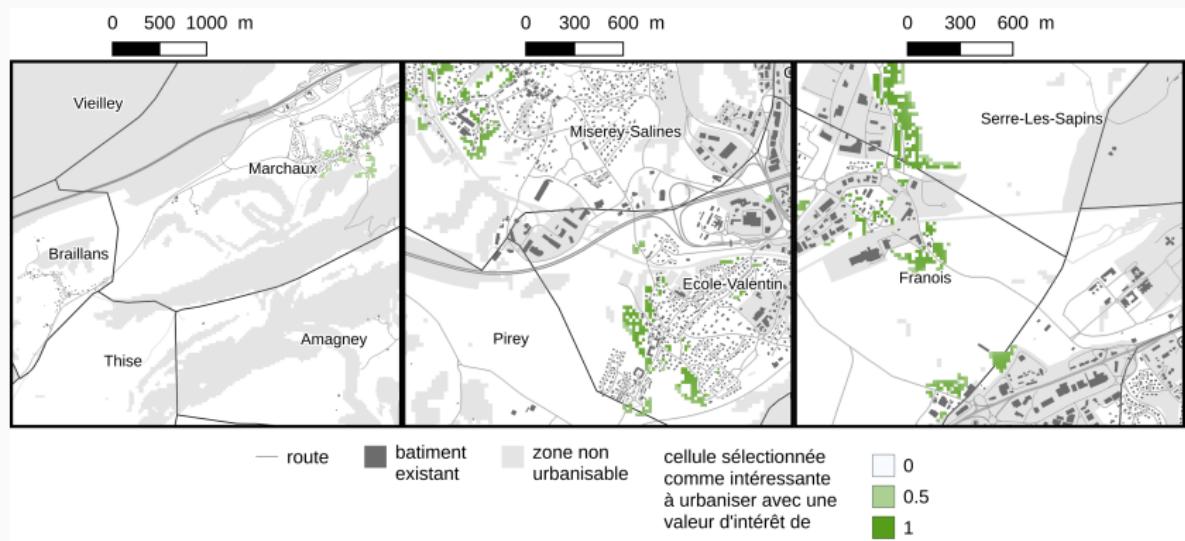
Scénario de développement résidentiel **contrasté, intense et extensif** :



Validation de différentes configurations spatiales de MUP City

Scénario d'intensification de la densité résidentielle

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



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

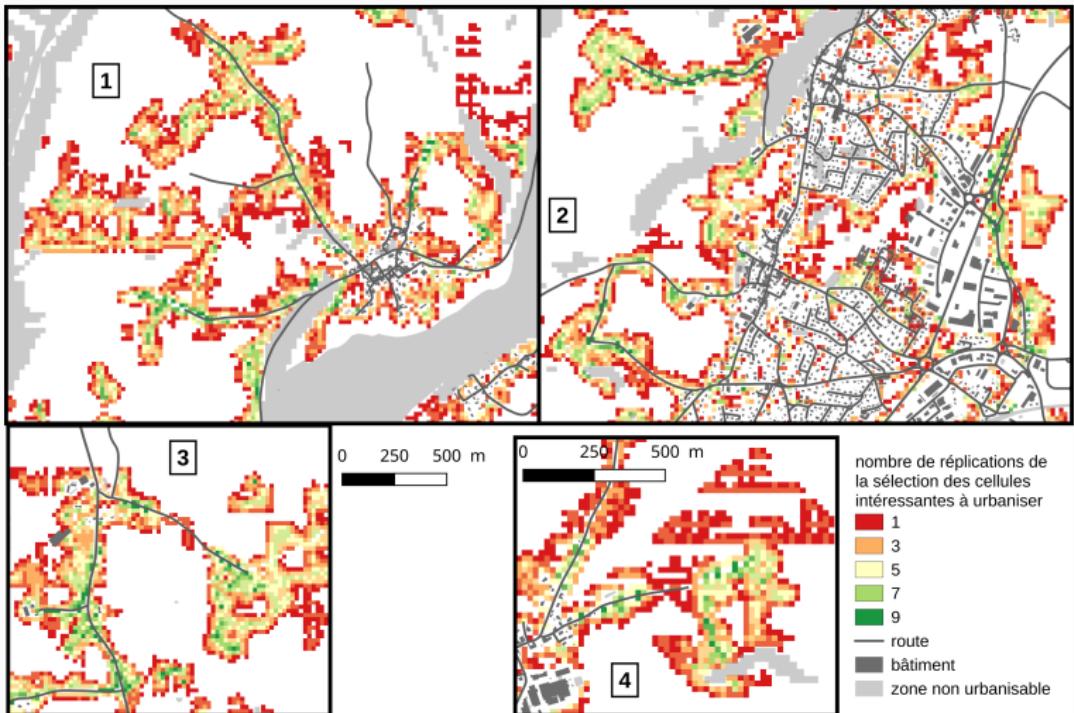
Indicateurs :

- 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

MUP-City : variabilité due aux paramètres techniques



exemple de l'application d'un décalage de 20 mètres à la grille de décomposition

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

MUP-City : variabilité due aux paramètres techniques

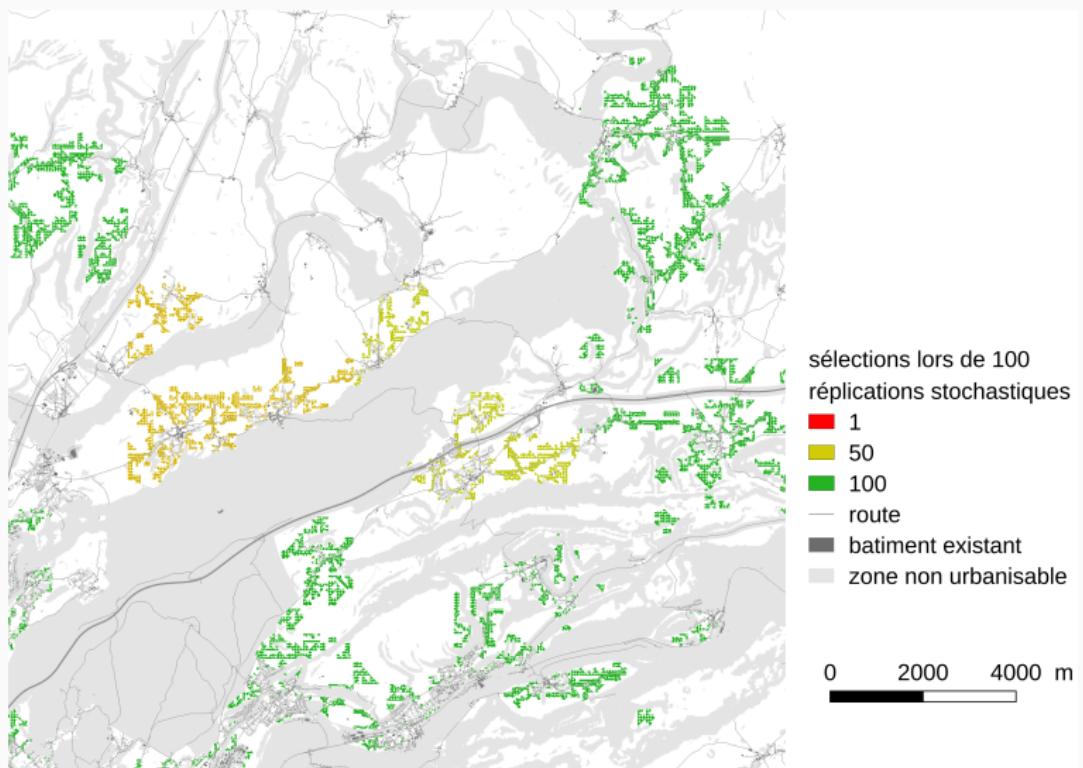
Introduction

ArtiScales

Validation des

Expérimentation d'Artis

Conclusion

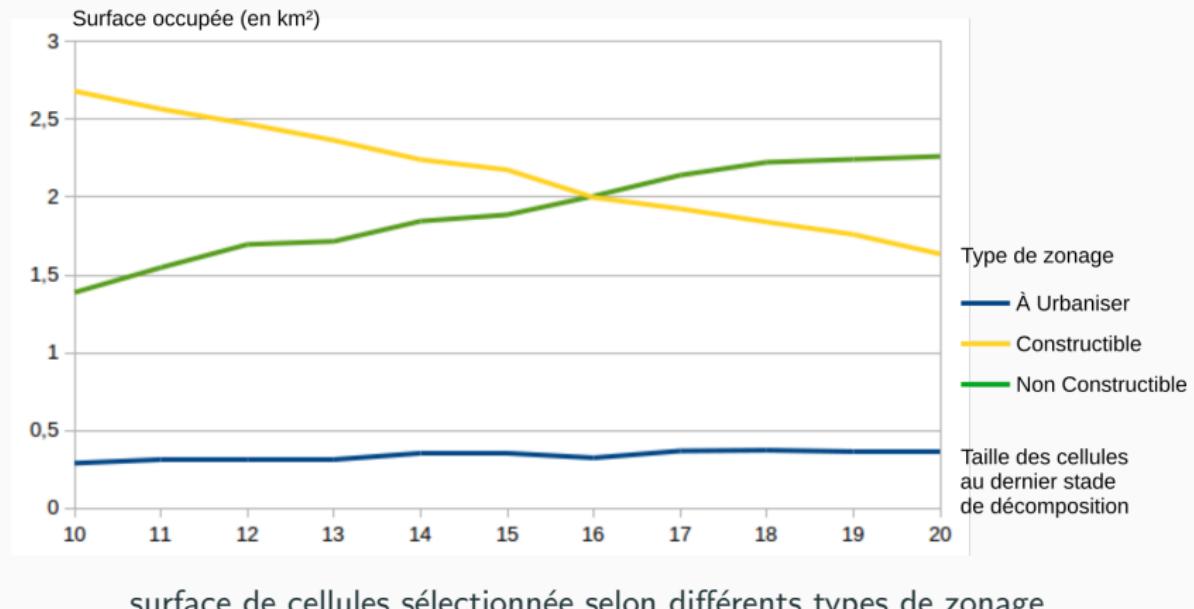


exemple de réplications stochastique

Scénario d'intensification de la densité résidentielle

- Variable du fait du **caractère aléatoire**
- Localement très sensible à la position de la grille de décomposition
- Cellules situées dans différents types de zonage

MUP-City : variabilité due aux paramètres techniques



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

Sélection de différents **scénarios de développement résidentiel** ainsi que des **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

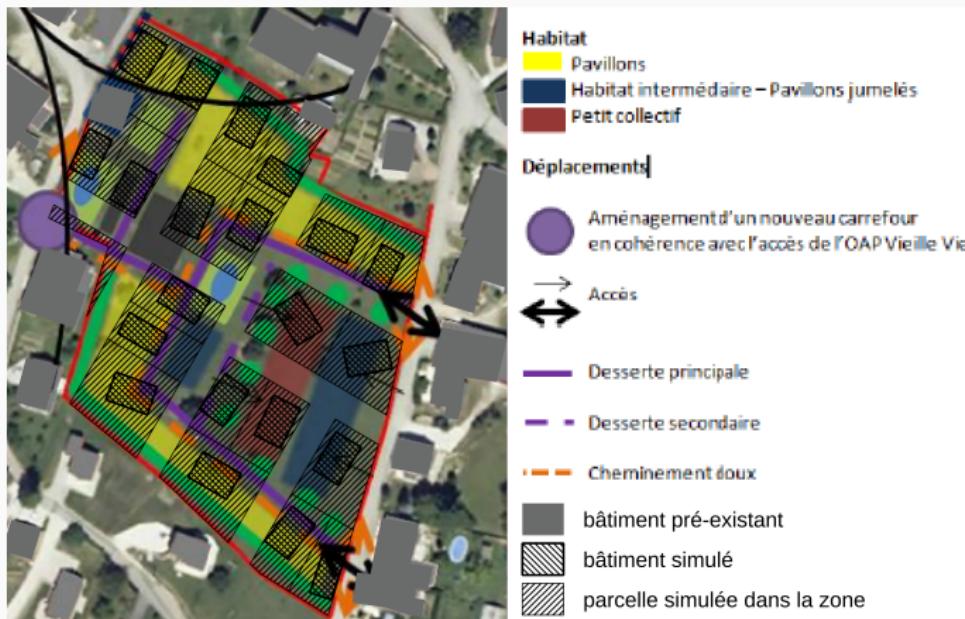
Sélection de différents **scénarios de développement résidentiel** ainsi que des **variantes** de ces scénarios

Validation thématique de ces scénarios

Validation des modules d'Artiscales

Validation du modèle MUP-City

Application de l'algorithme sur l'ensemble des zones AU de la zone d'étude et comparaisons avec certaines opérations spéciales d'aménagement



Validation des modules d'Artiscales

Validation du Parcel Manager

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 d'Artiscales sur l'aire urbaine de Besançon

Expérimentation d'ArtiScales sur l'aire urbaine de Besançon

Évaluation du fonctionnement d'ArtiScales

Objectifs de l'expérimentation

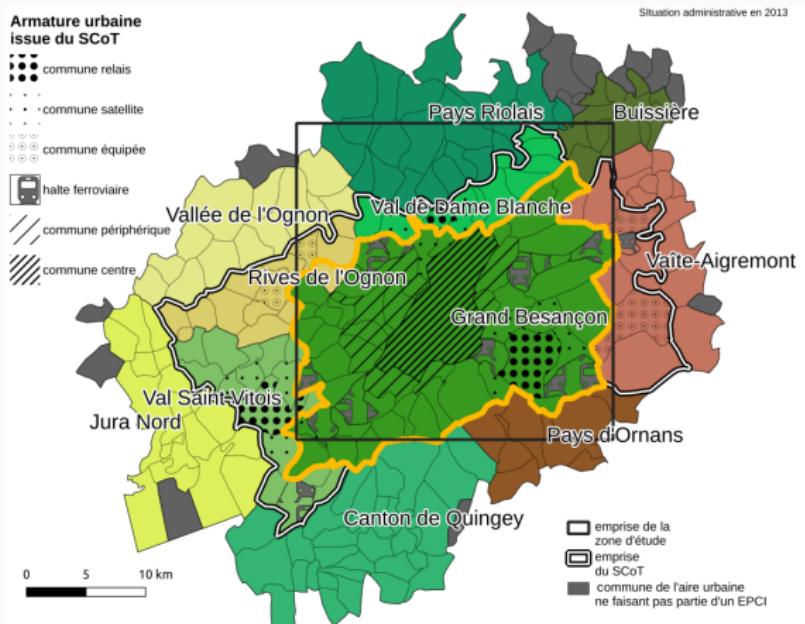
- Évaluer le fonctionnement d'ArtiScales
- Vérification de son intérêt pour l'évaluation des documents de planification et d'urbanisme

ArtiScales : Expérimentation menée au cours de la thèse

Introduction
ArtiScales
Validation
Expérimentation d'ArtiScales
Conclusion

Application à l'aire urbaine de Besançon

Données d'entrées du modèle : 2012



- temps **théorique** sur un ordinateur personnel : **5 jours**
- temps **théorique** sur la grille de calcul européenne : **6 heures**
- temps **constaté** sur la grille européenne : **2 jours**

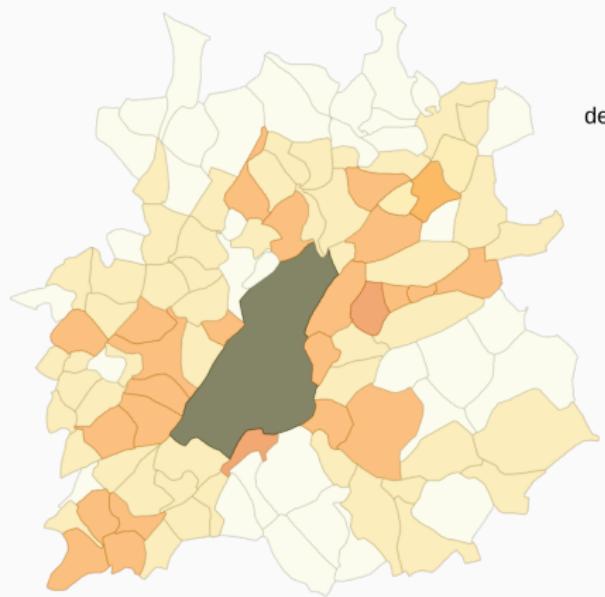
Deux scénarios de développement résidentiel

- Développement 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

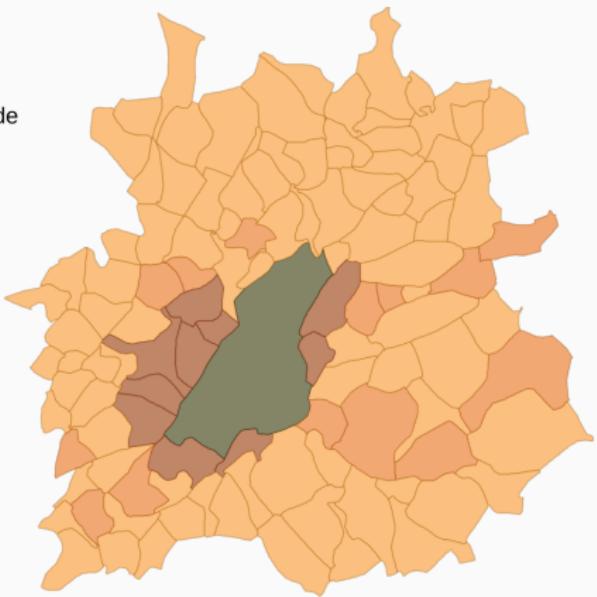
ArtiScales : Densité nette de logements par m^2



densités initiales

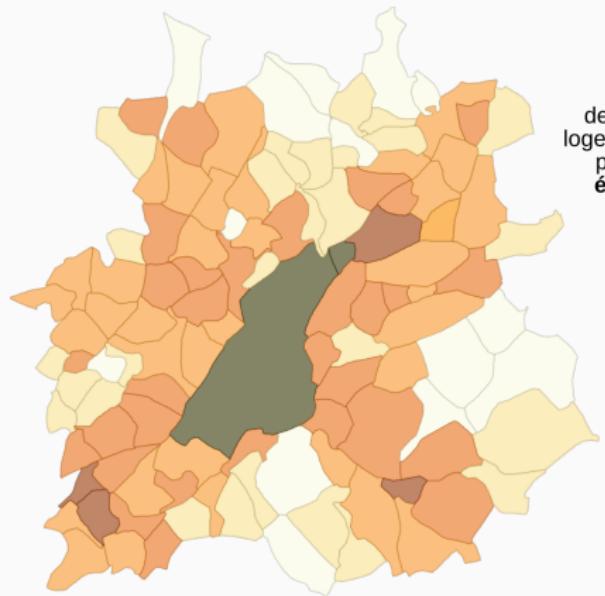
densités nettes de logements par hectare

- 3 - 7
- 7 - 10
- 10 - 14
- 14 - 21
- 21 - 30
- 30+



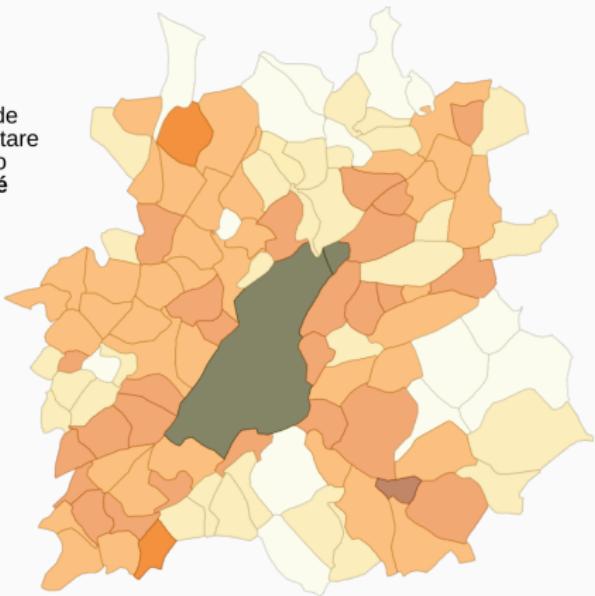
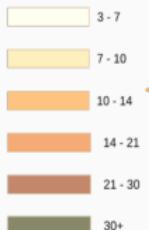
densités objectives

ArtiScales : Densité nette de logements par m^2



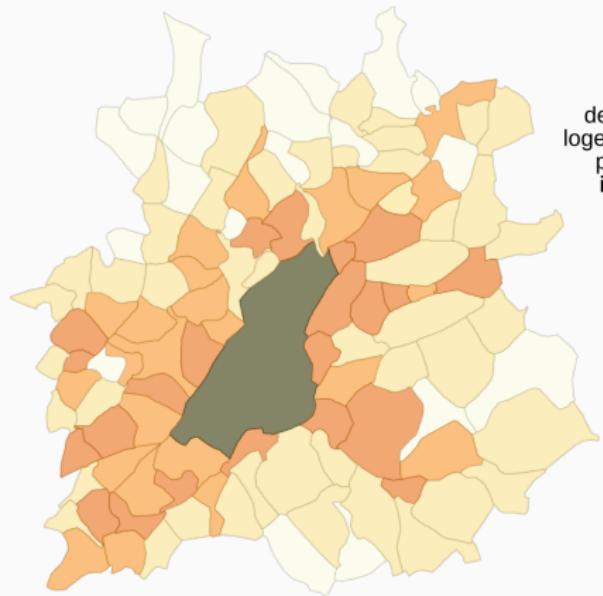
paramétrage dense

densités nettes de logements par hectare pour le scénario étalement ciblé



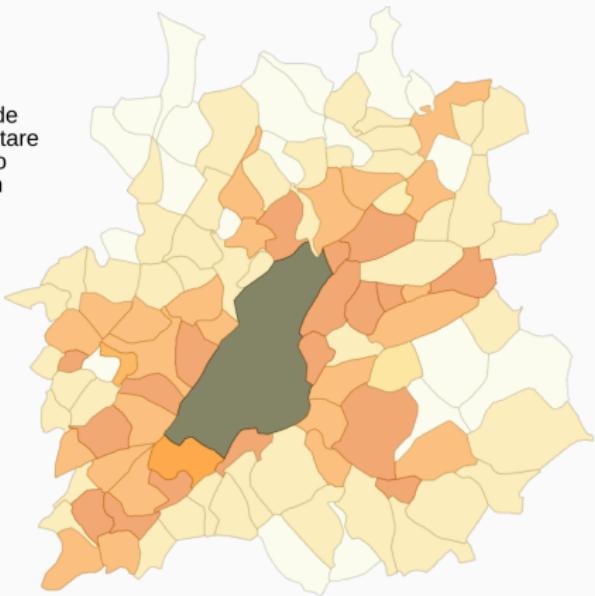
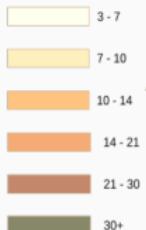
paramétrage peu dense

ArtiScales : Densité nette de logements par m^2



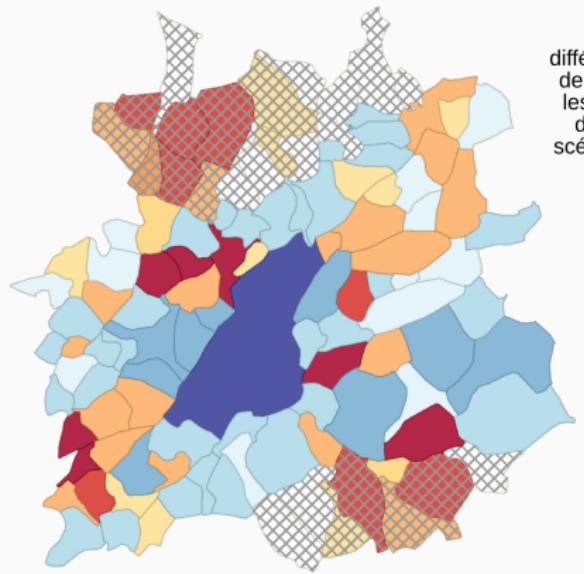
paramétrage **dense**

densités nettes de logements par hectare pour le scénario intensification



paramétrage **peu dense**

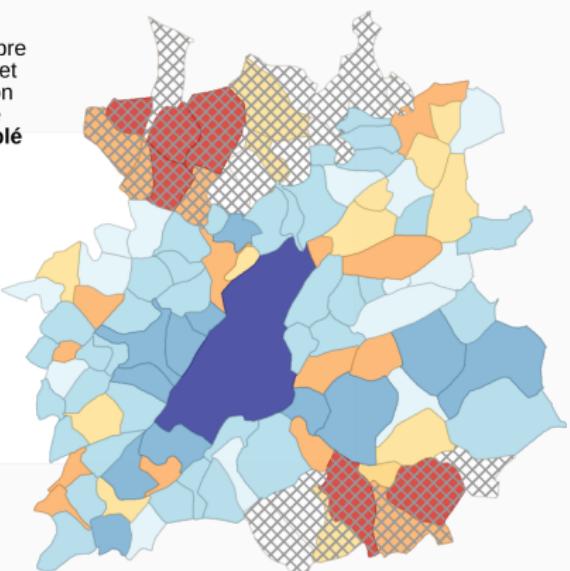
ArtiScales : Simulation de logements



paramétrage dense

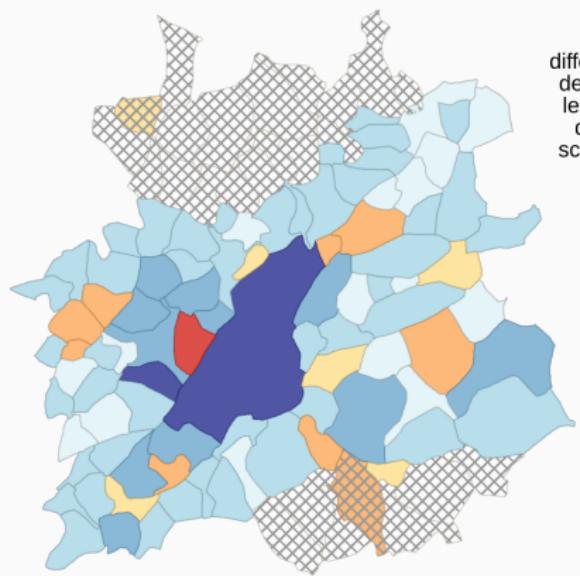
différence entre le nombre de logements simulés et les objectifs de création de logements pour le scénario **étalement ciblé**

[dark red]	-201
[red]	-200 - -101
[orange]	-100 - -21
[yellow]	-20 - -1
[light blue]	0 - 20
[medium blue]	21 - 150
[dark blue]	151 - 300
[very dark blue]	301+



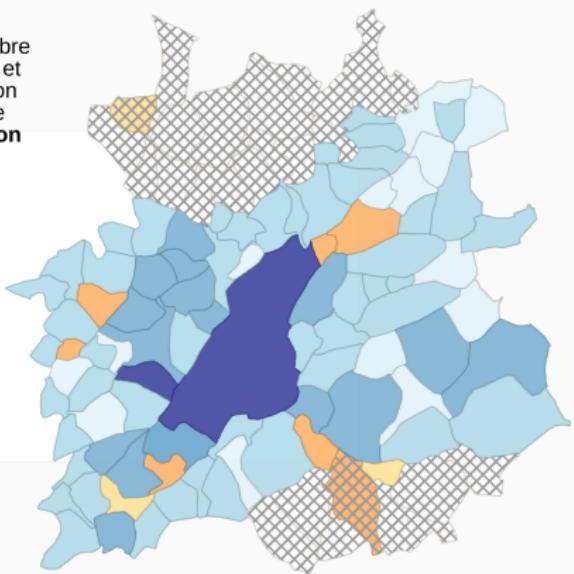
paramétrage peu dense

ArtiScales : Simulation de logements



paramétrage dense

différence entre le nombre de logements simulés et les objectifs de création de logements pour le scénario **intensification**



paramétrage peu dense

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

Typologie de l'armature	Densité moyenne simulée pour le scénario :		étalement ciblé		intensification	
	Objectif du SCoT sur 25 ans	Nombre de logements produits en 4 ans ¹	paramétrage dense	paramétrage modérément dense	paramétrage dense	paramétrage modérément dense
Ville centre	18 200	2 621	2 841	3 891	3 192	3 777
Communes périphériques	3 500	505	2 017	1 519	1 764	1 425
Communes relais	1 250	147	402	489	331	356
Communes équipées	600	42	123	21	102	17
Halte ferroviaire	2 200	328	3 248	948	1 207	613
Commune hors armature	5 250	1 055	4 274	1 908	3 511	1 433

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

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

Typologie de l'armature	Densité moyenne simulée pour le scénario :		étalement ciblé		intensification	
	Objectif du SCoT sur 25 ans	Nombre de logements produits en 4 ans ¹	paramétrage dense	paramétrage modérément dense	paramétrage dense	paramétrage modérément dense
Ville centre	18 200	2 621	2 841	3 891	3 192	3 777
Communes périphériques	3 500	505	2 017	1 519	1 764	1 425
Communes relais	1 250	147	402	489	331	356
Communes équipées	600	42	123	21	102	17
Halte ferroviaire	2 200	328	3 248	948	1 207	613
Commune hors armature	5 250	1 055	4 274	1 908	3 511	1 433

En 4 ans : Production de logements en deçà des objectifs

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

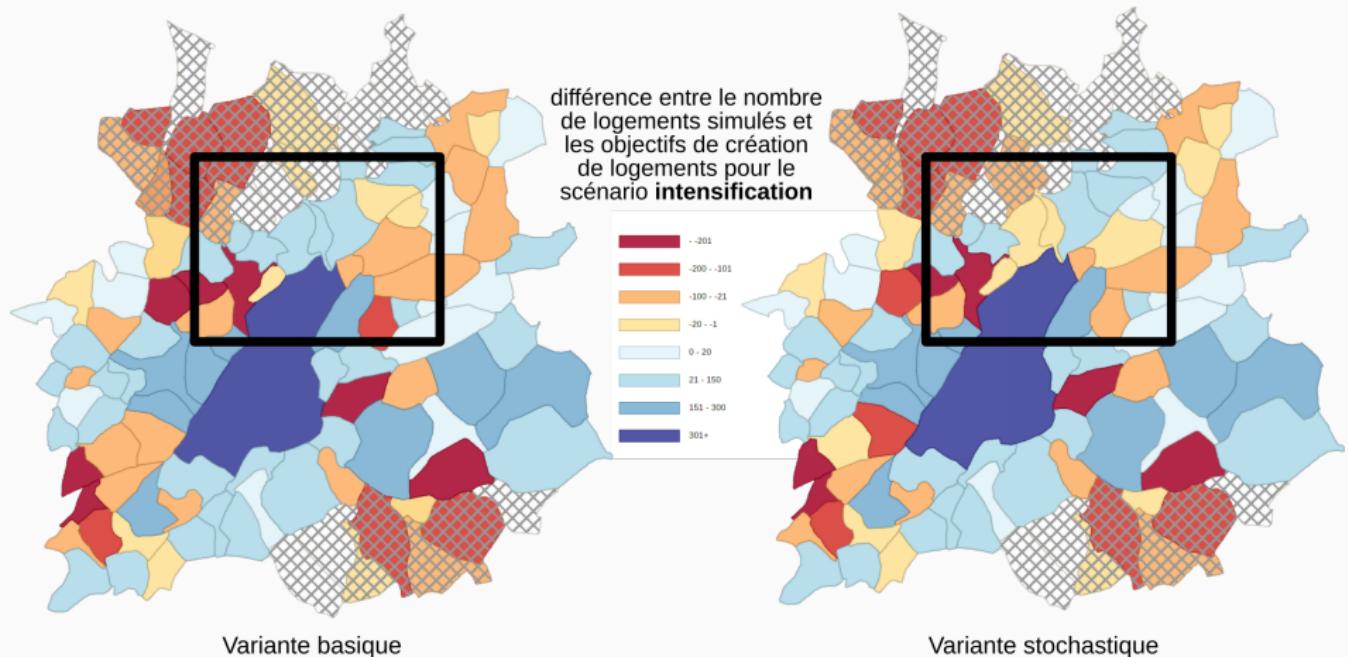
Table 1: Comparaison de la création de logements mesurée par le SCoT avec les estimations des simulations d'ArtiScales

Typologie de l'armature	Densité moyenne simulée pour le scénario :		étalement ciblé		intensification	
	Objectif du SCoT sur 25 ans	Nombre de logements produits en 4 ans ¹	paramétrage dense	paramétrage modérément dense	paramétrage dense	paramétrage modérément dense
Ville centre	18 200 (7 280)	2 621	2 841	3 891	3 192	3 777
Communes périphériques	3 500 (1 400)	505	2 017	1 519	1 764	1 425
Communes relais	1 250 (500)	147	402	489	331	356
Communes équipées	600 (240)	42	123	21	102	17
Halte ferroviaire	2 200 (880)	328	3 248	948	1 207	613
Commune hors armature	5 250 (2 100)	1 055	4 274	1 908	3 511	1 433

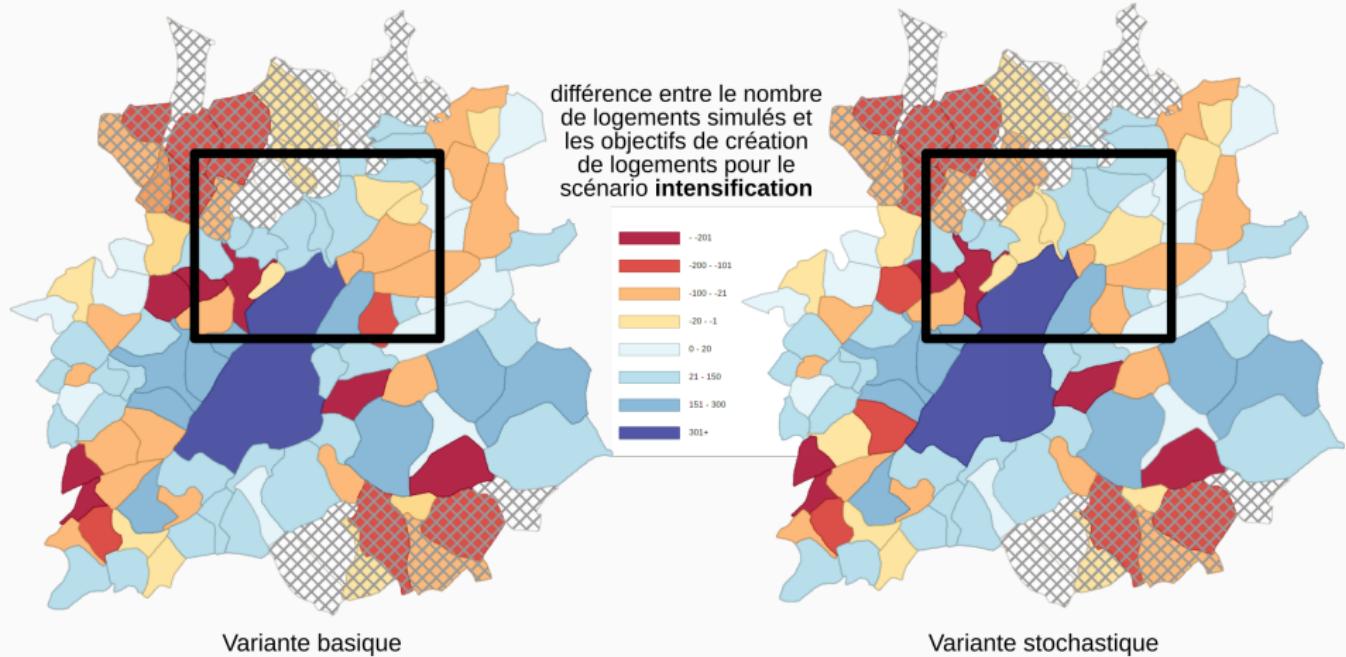
De 2012 à 2016, on compte 60% de *renouvellement urbain*

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

ArtiScales : Comparaison avec les variantes



ArtiScales : Comparaison avec les variantes



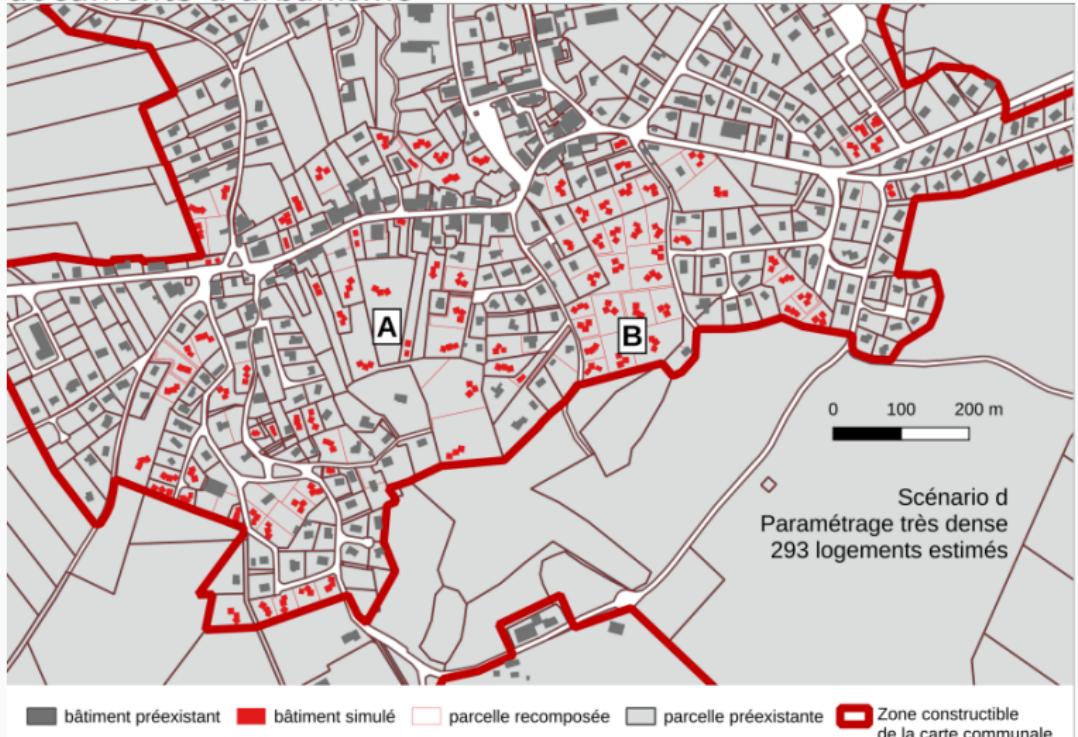
*deuxième carte à venir comparant le scénario **intense** avec des cellules plus petites*

Expérimentation d'Artiscales sur l'aire urbaine de Besançon

**Utilisation thématique des résultats
d'Artiscales**

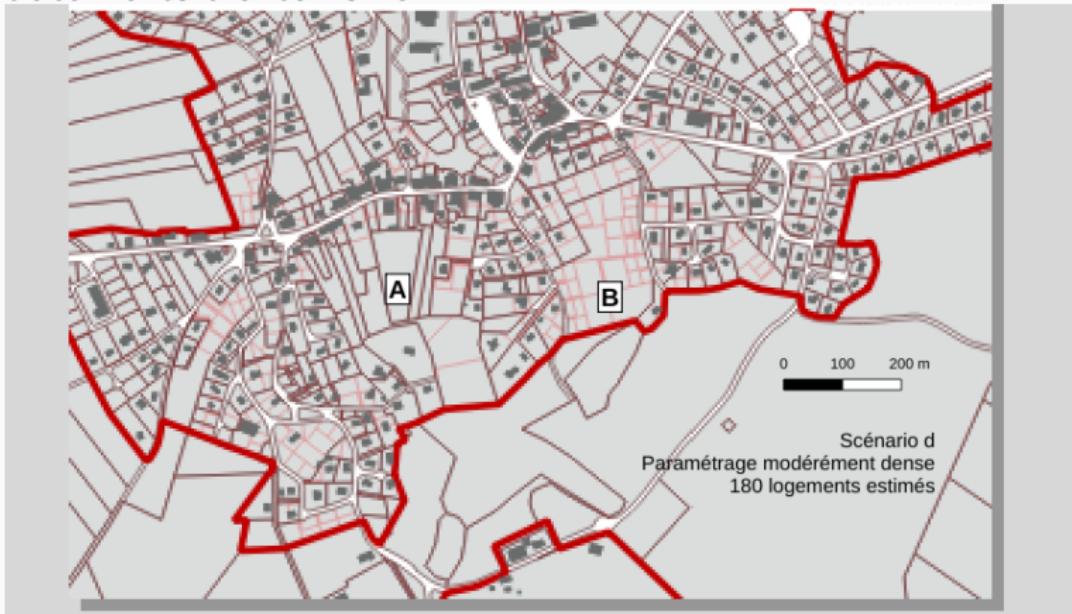
Compatibilité entre les documents

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



Compatibilité entre les documents

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



Compatibilité entre les documents

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



Avanne-Aveney	Objectif de création de logements : 350
Scénario d'ArtiScales	Nombre de logement manquant
Développement ciblé - dense	75
Développement ciblé - peu dense	245
Intensification - dense	259
Intensification - peu dense	285

bâtiment préexistant parcelle recomposée bâtiment simulé dans le scénario développement ciblé - dense



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 :

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 :

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

logements simulés > objectifs

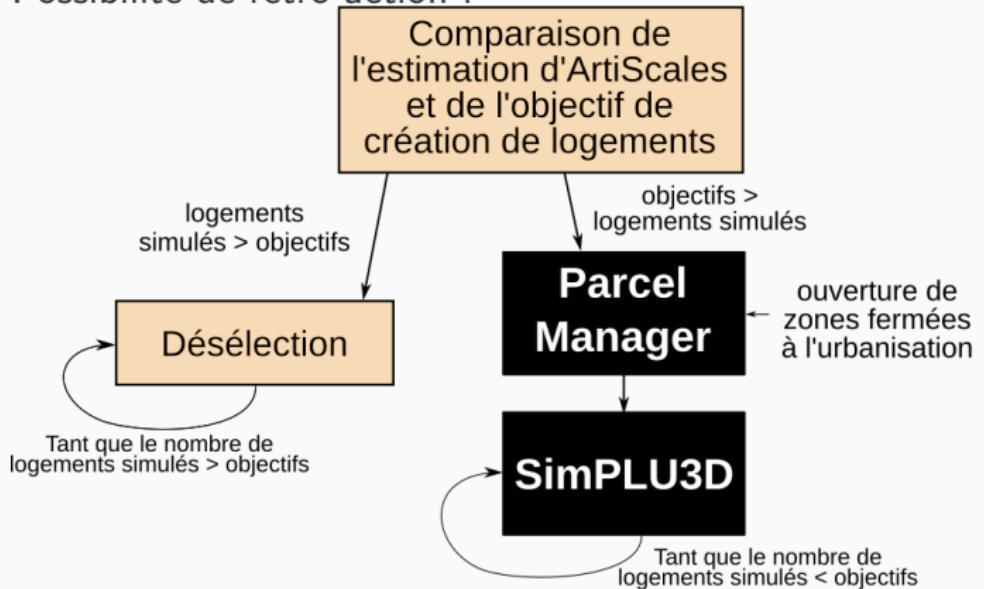
Désélection

Tant que le nombre de logements simulés > objectifs



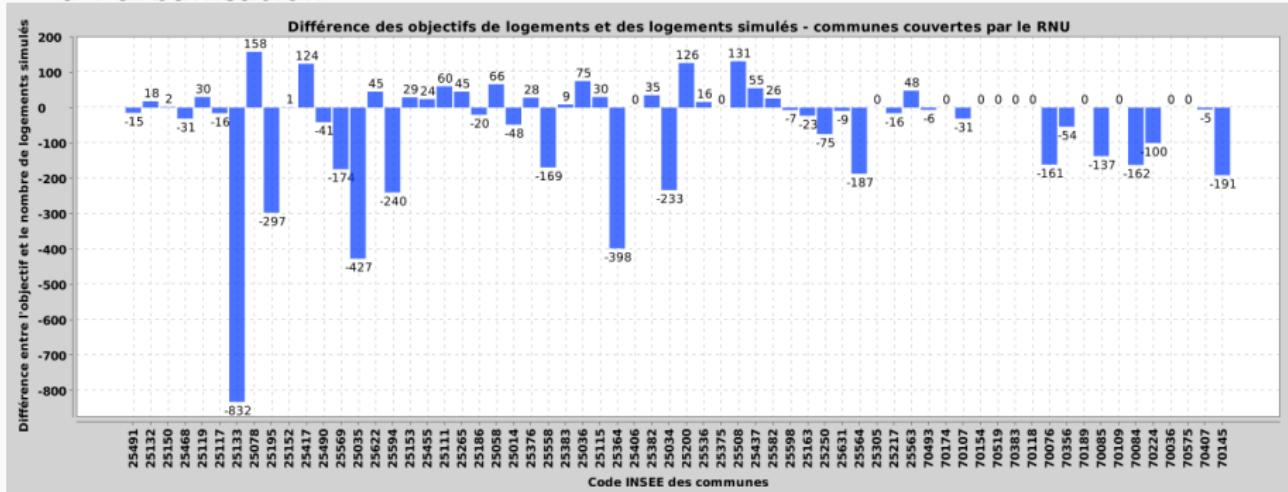
Incompatibilité entre les objectifs de création de logements et les documents d'urbanisme

Possibilité de rétro-action :



Déetecter la nécessité d'un zonage

De nombreuses communes où s'applique le RNU² sont trop ouverte à l'urbanisation



²dans les communes sans zonage pré-défini, le RNU s'applique dans les *Parties Actuellement Urbanisée (PAU)*

Possibilité de génération automatique de Cartes Communales

Génération automatique de zonage :

Génération automatique de zonage :

- enveloppe des parcelles urbanisées

Génération automatique de zonage :

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

Génération automatique de zonage :

- 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

Génération automatique de zonage :

- 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

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

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

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

Merci pour votre attention

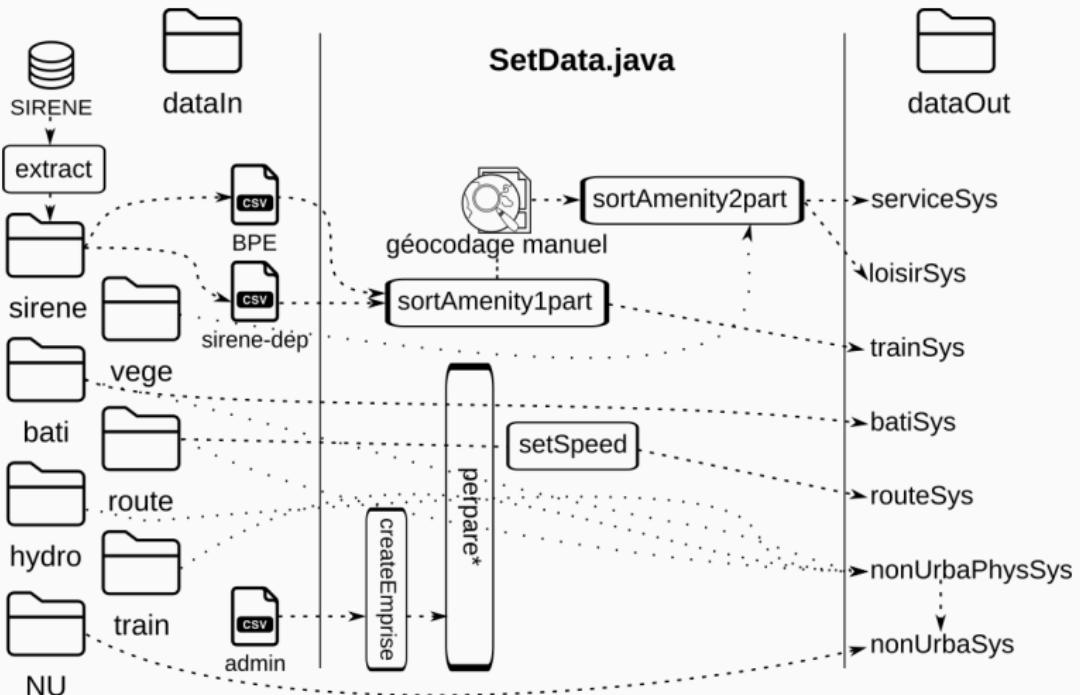
Everything we do is open source

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
Validation des
Expérimentation d'Artis
Conclusion

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

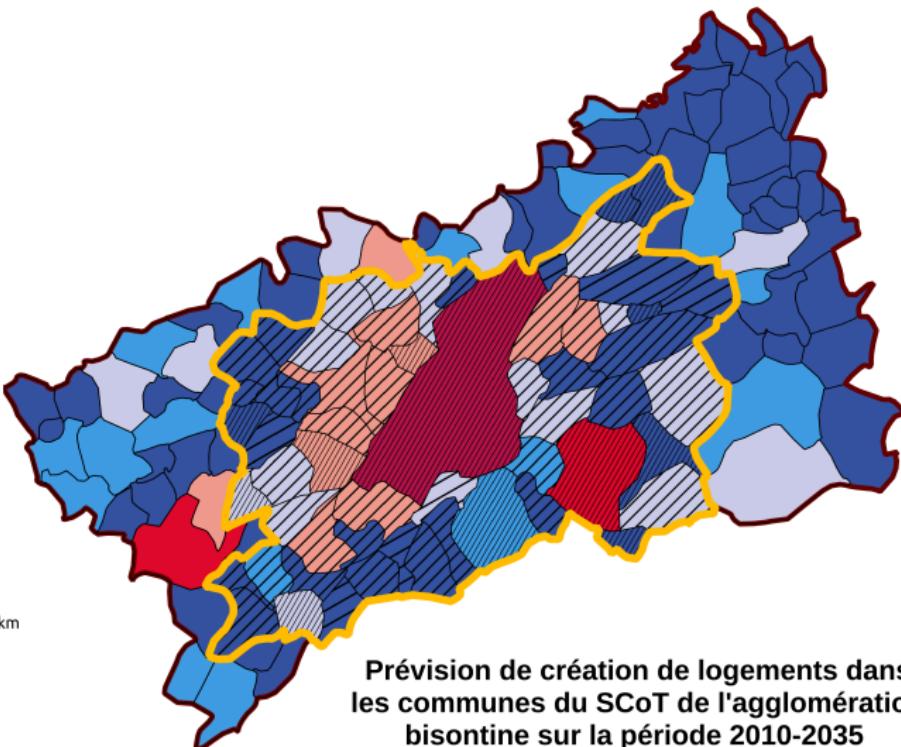
Logements à construire par un acteur public dans le PLH

0% - 25%

25% - 35%

35% - 50%

0 5 10 km



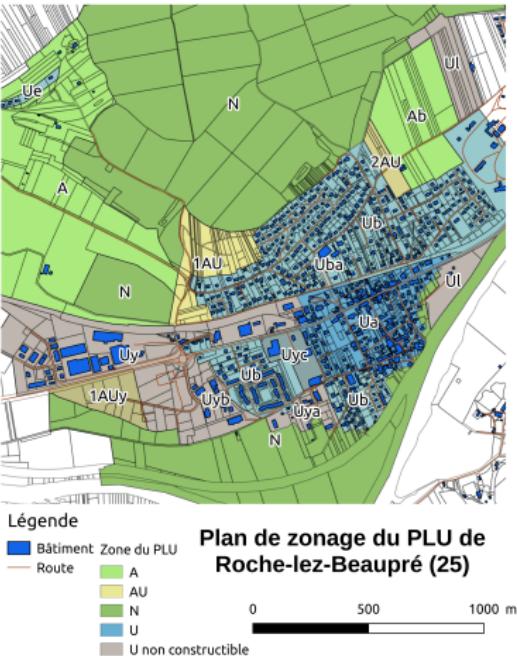
Le **Plan Local de l'Urbanisme (PLU)** détaille et spatialise les contraintes de constructibilité au sein d'une commune

- 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

Zones générales et sous-zones particulières

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



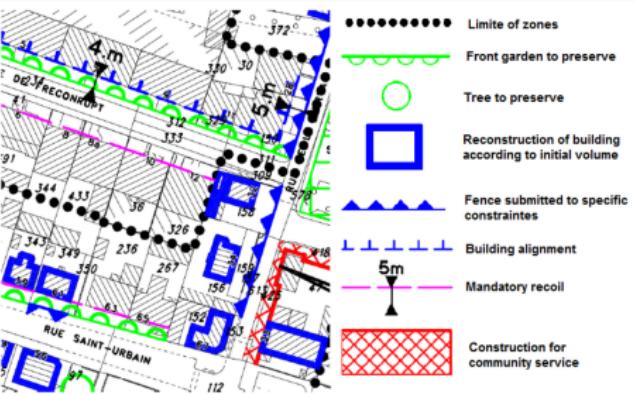
Rétro action pour la compatibilité en modifiant le zonage

Introduction
ArtiScales
Validation des
Expérimentation d'Artis
[Conclusion](#)

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

Orientations d'Aménagement et de Programmation :

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

Comparaison d'OAP et des résultats de simulation

Table 2: 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

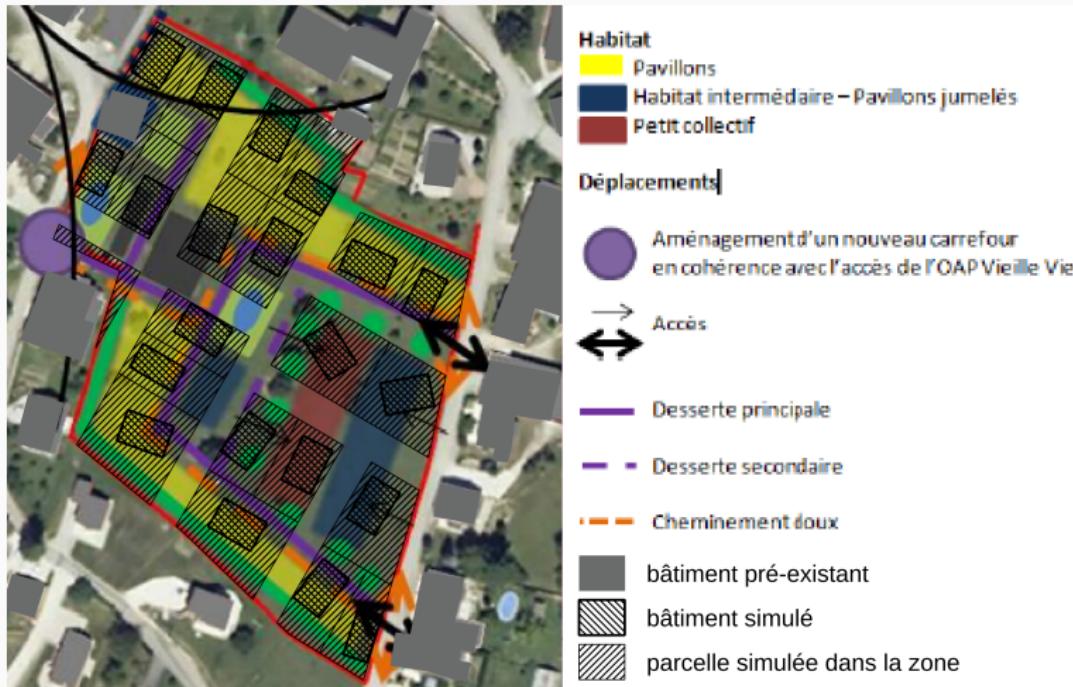


Illustration superposant l'OAP du *Champ Sera à La Tour De Say* (25640) et les résultats de la simulation provenant du scénario c avec le paramétrage induisant une forte densité

Table 2: Consommation foncière des différents scénarios

Scenario	Extension ciblée		Intensifi
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

ArtiScales : Densité nette de logements par m^2

Table 3: Comparaison de la moyenne des densités nettes de logements par hectare entre les objectifs du SCoT et les développements résidentiels simulés par ArtiScales

Typologie de l'armature	Densité moyenne simulée dans 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

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