

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

Soutenance de thèse de doctorat de l'Université Paris-Est

École doctorale MSTIC - spécialité "sciences et technologies de l'information géographique"

Maxime Colomb

27 septembre 2019

Composition du jury :

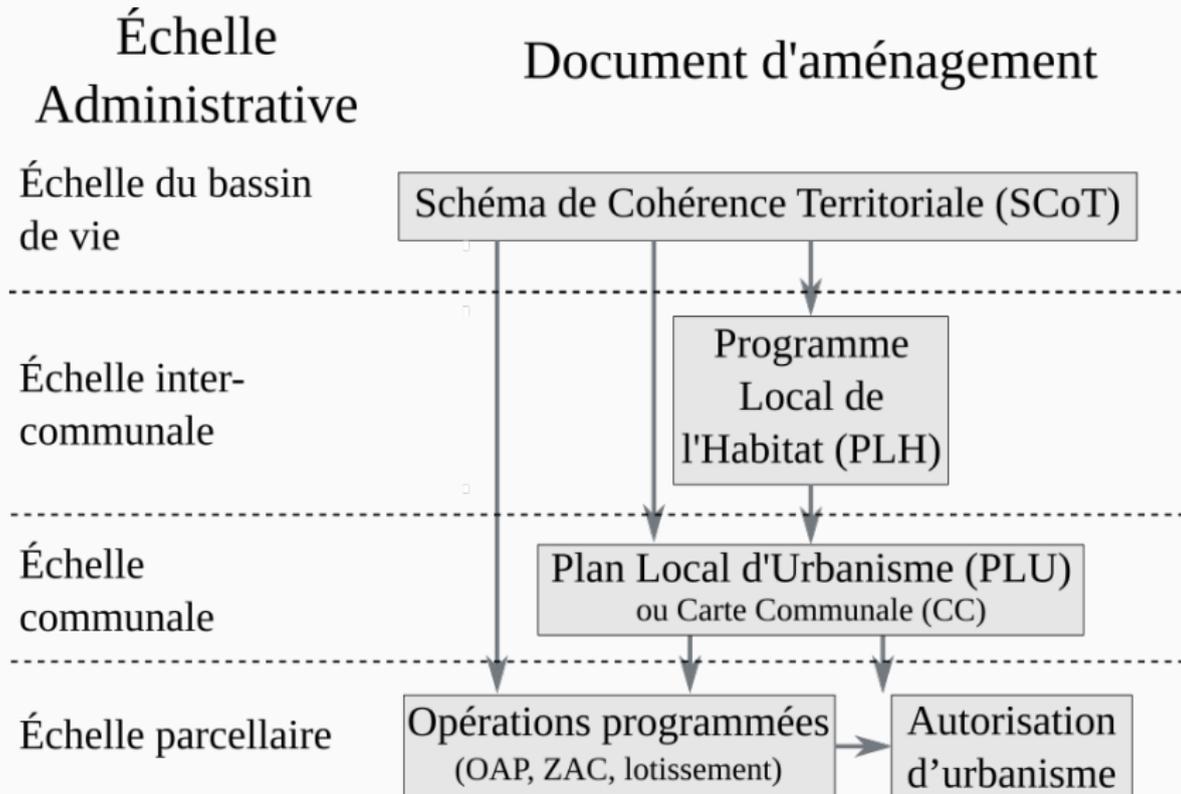
Cyrille Genre-Grandpierre Jacques Teller	Professeur des Universités, Université d'Avignon - UMR Espace Professeur, Université de Liège, Belgique	Rapporteur Rapporteur
Hélène Houot Florent Le Néchet	Maître de conférence, Université de Franche-Comté - UMR ThéMA Maître de conférences, Université Paris-Est - UMR LVMT	Examinatrice Examineur
Mickaël Brasebin Julien Perret Cécile Tannier	Dr., Ingénieur des Travaux Cartographiques d'État, IGN/LaSTIG - ENSG Directeur de Recherche du Développement Durable, IGN/LaSTIG - ENSG Directrice de Recherche CNRS - UMR ThéMA	Encadrant Directeur de thèse Directrice de thèse

Contexte : le phénomène d'étalement urbain

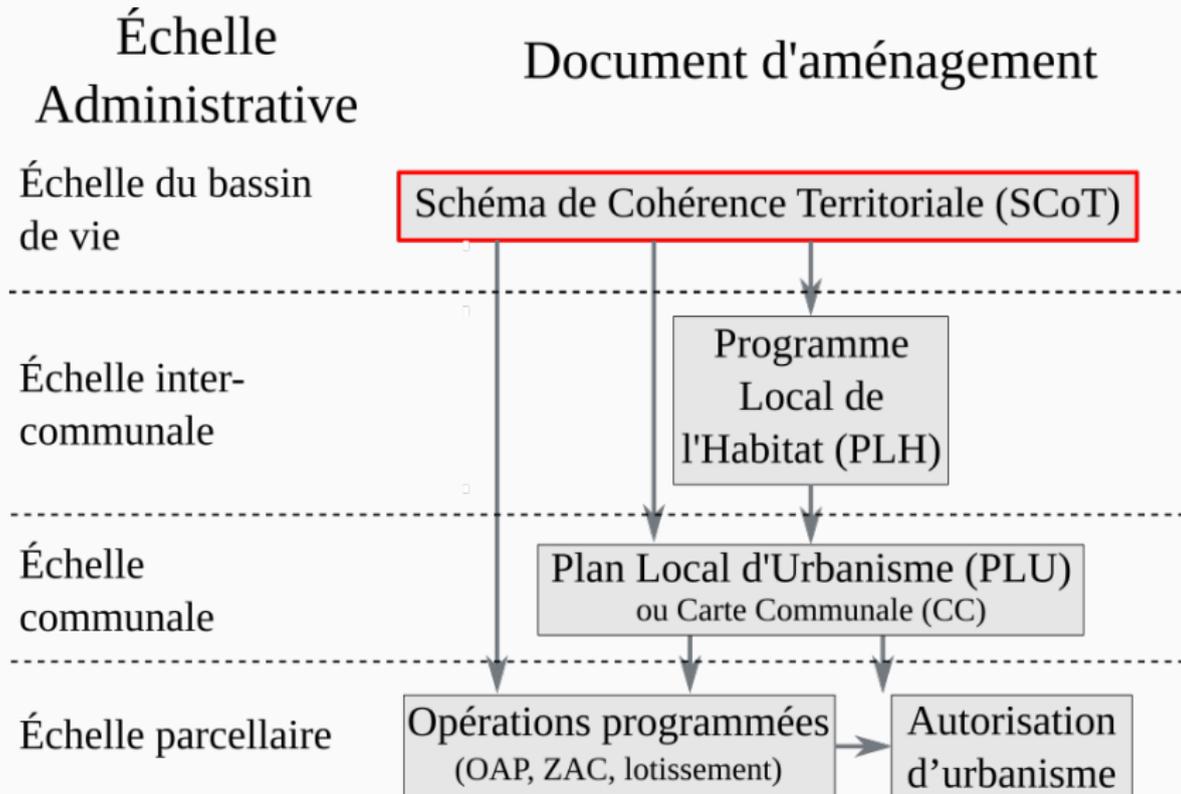
- Urbanisation désordonnée de terrains non-bâtis en marge des centres urbains
 - Dynamiques résidentielles prépondérantes (Joly 03, Wiel 13)
- Multiples effets négatifs
- Objectif de régulation des pouvoirs publics



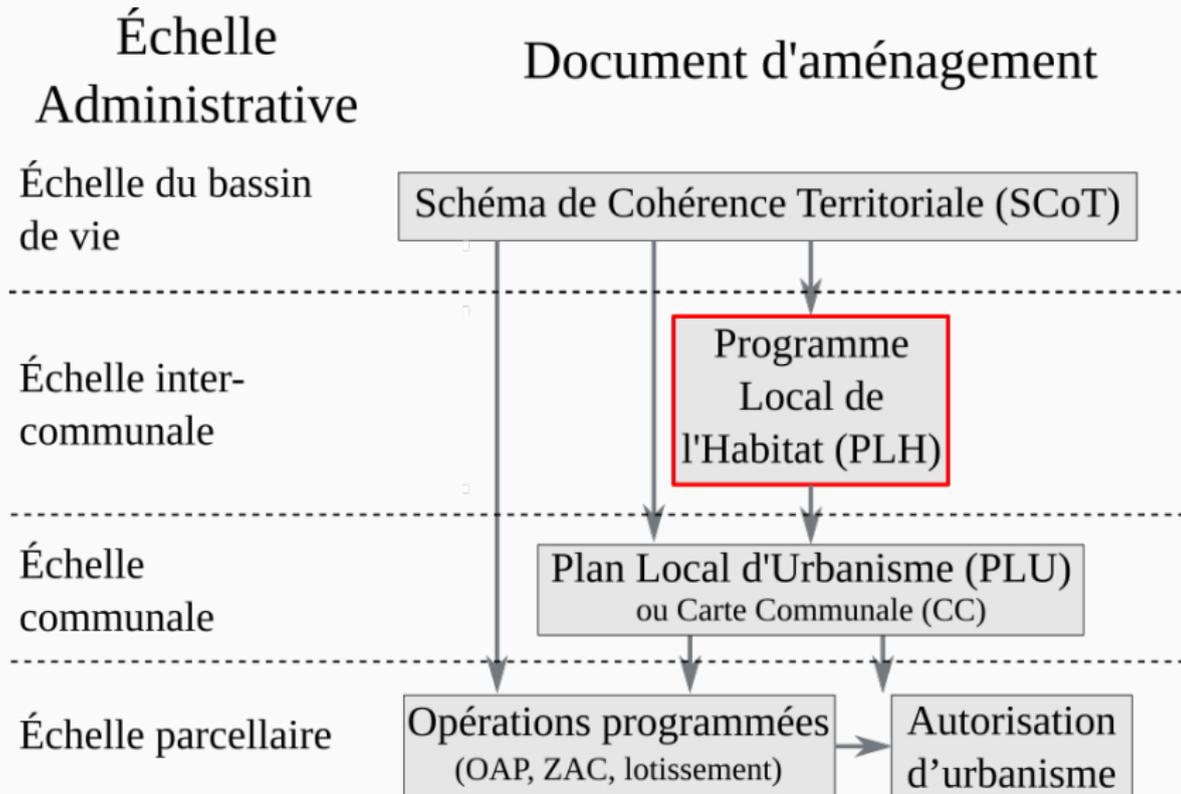
Divers documents d'aménagement réglementant l'extension résidentielle



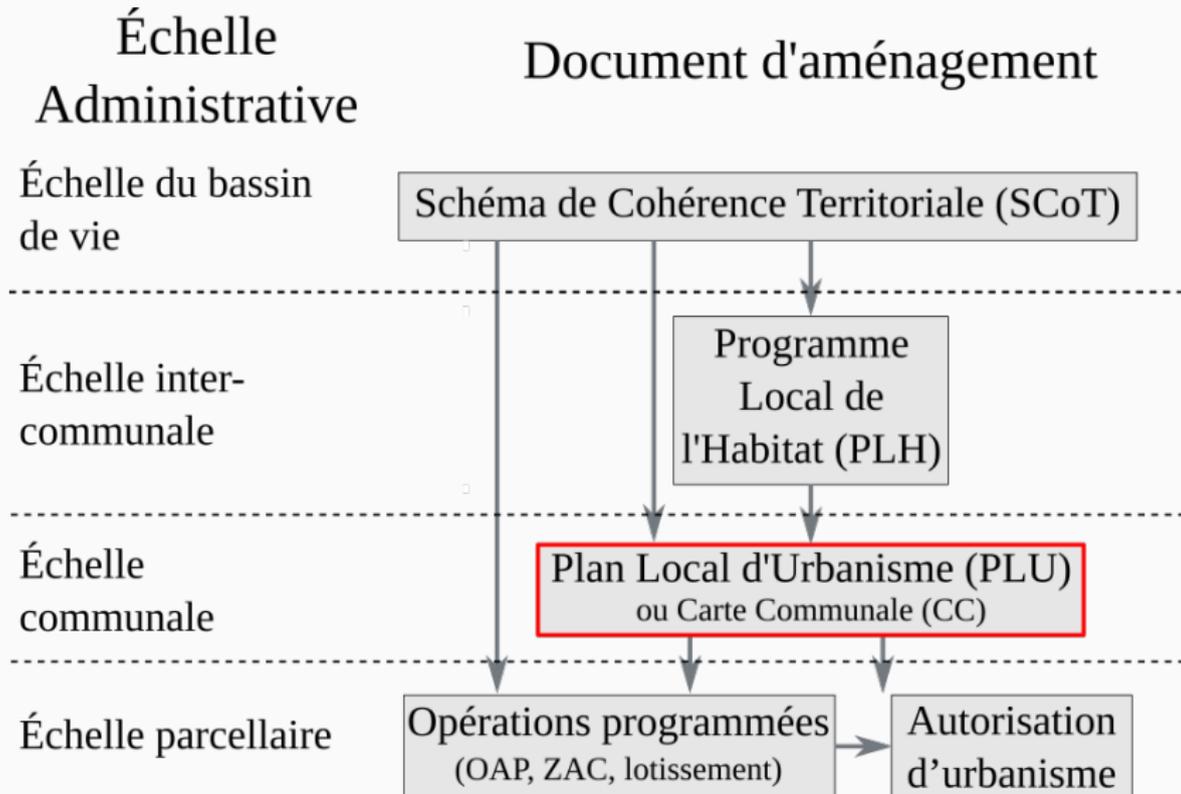
Divers documents d'aménagement réglementant l'extension résidentielle



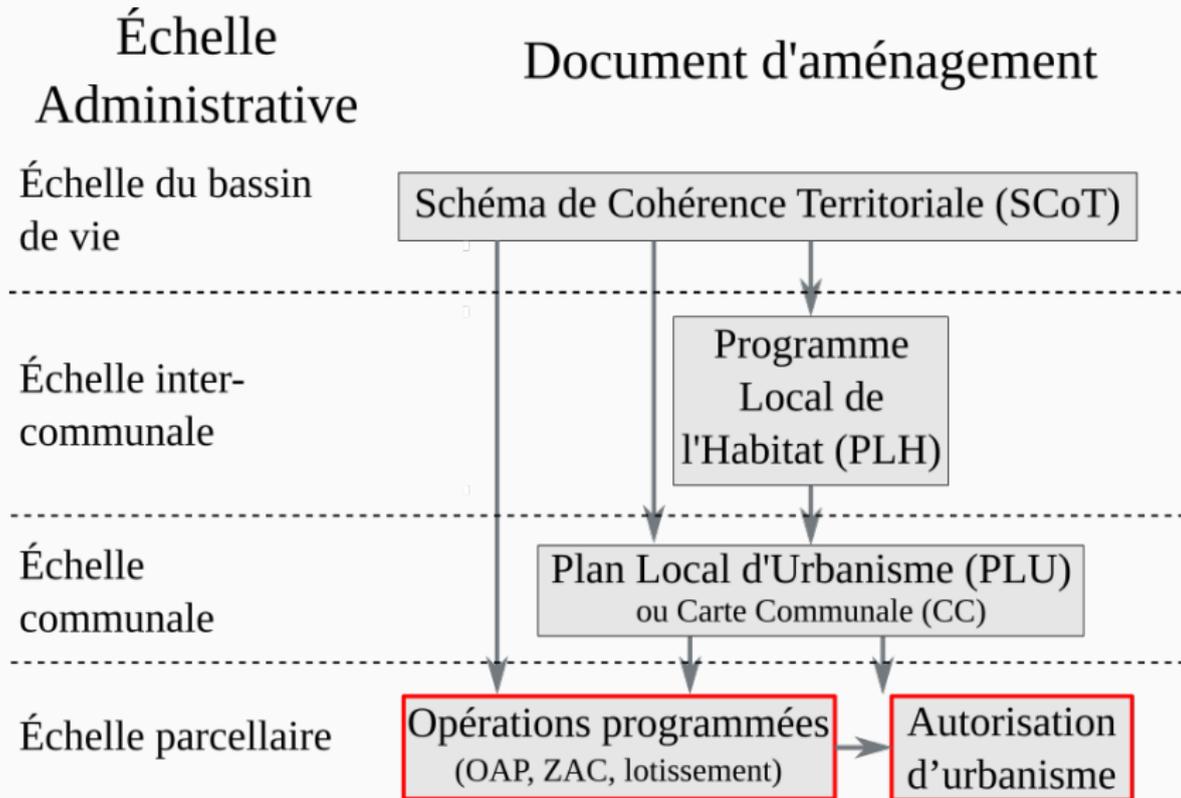
Divers documents d'aménagement réglementant l'extension résidentielle



Divers documents d'aménagement réglementant l'extension résidentielle



Divers documents d'aménagement réglementant l'extension résidentielle



Différents types de contraintes réglementaires

<i>Type de contrainte</i> <i>Échelle</i>	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

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

Différents types de contraintes réglementaires

<i>Type de contrainte</i> <i>Échelle</i>	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	



Enjeux : compatibilité/conformité entre les documents

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

Enjeux : compatibilité/conformité entre les documents

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

Modéliser l'articulation de ces contraintes pour tester leurs combinaisons

Objectifs de la modélisation

Objectifs

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

Objectifs de la modélisation

Objectifs

- Simuler et 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

- Simuler et 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

- Simuler et 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 de la modélisation

Objectifs

- Simuler et 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

- Simuler et 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

- Modélisation descriptive

Objectifs de la modélisation

Objectifs

- Simuler et 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

- Modélisation descriptive
- Passage d'un état initial à un état final

Objectifs de la modélisation

Objectifs

- Simuler et 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

- Modélisation descriptive
- Passage d'un état initial à un état final
- Pas de reproduction des phénomènes antérieurs

Objectifs de la modélisation

Objectifs

- Simuler et 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

- Modélisation descriptive
- Passage d'un état initial à un état final
- Pas de reproduction des phénomènes antérieurs

Prérequis

- Utilisation de modèles préexistants

Objectifs de la modélisation

Objectifs

- Simuler et 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

- Modélisation descriptive
- Passage d'un état initial à un état final
- Pas de reproduction des phénomènes antérieurs

Prérequis

- Utilisation de modèles préexistants
- Solutions libres et open-source pour une recherche **vérifiable** et **reproductible**

État de l'art des modèles de développement résidentiel

Les modèles d'**occupation du sol** (Batty 1997, Arentze 2008, Tannier 2010, Mustapha 2018).

- Simulation du changement d'état de l'occupation du sol et particulièrement de l'urbanisation
- Poursuis de nombreux objectifs :
 - Exploratoire (potentiels d'urbanisation)
 - Prévisionnel (marché immobilier, changements démographiques)
 - Prospectif (évolutions possibles)

Limites par rapport à nos objectifs :

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

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

Limites par rapport à nos objectifs :

- 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

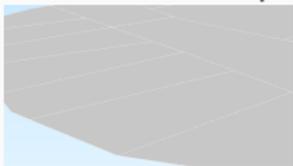
Limites par rapport à nos objectifs :

- Modélisation des mobilités non nécessaires à notre problème

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

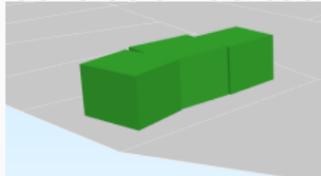
État de l'art des modèles génératifs de développements résidentiels

Génération de parcelles



- Processus géo-historiques (Perret 2015)
- Génération procédurale (Vanegas 2012)
- Génération paramétrique (Yazýcý 2016)

Génération de bâtiments



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

Limites par rapport à nos objectifs :

- Appliqué à un niveau très local

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**

Objectif de la thèse

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

Utilisations

- Permettre de comparer plusieurs **scénarios** de développement résidentiels
- Représenter des futurs hypothétiques, recherchés, redoutés

Plan de la présentation

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

ArtiScales

ArtiScales : Rappel des objectifs

Création d'un modèle de développement résidentiel :

- réaliste
- multi-échelle
- ouvert

Estimations concernant :

- Le nombre et de type de logements
- La densités de logements par hectare

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

ArtiScales : Fonctionnement

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

SimPLU3D

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



ArtiScales : Fonctionnement

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

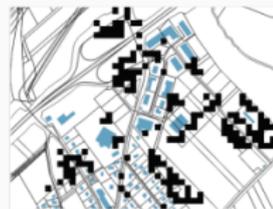
Simulation d'un nombre et d'un type
de logements



ArtiScales : Fonctionnement

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

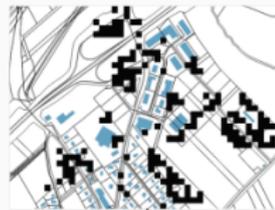


ArtiScales : Fonctionnement

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



Cellules d'environ 20 mètres de côté



Parcelle d'entrée



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

?



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

ArtiScales : Fonctionnement

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



Sélection (et recomposition) parcellaire

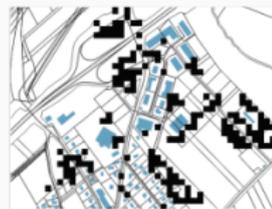
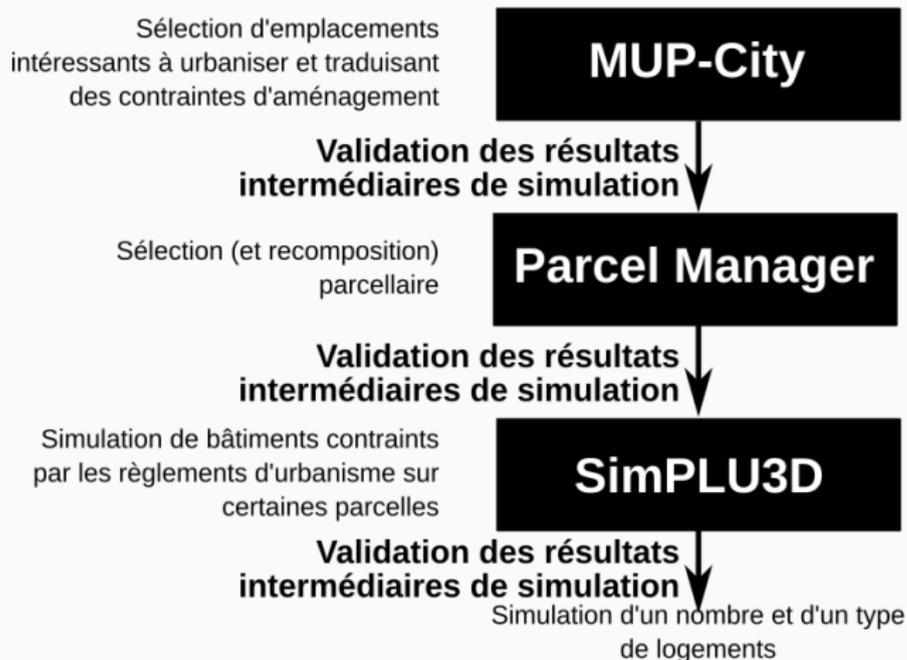


Simulation de bâtiments contraints par les règlements d'urbanisme sur certaines parcelles



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

ArtiScales : Fonctionnement



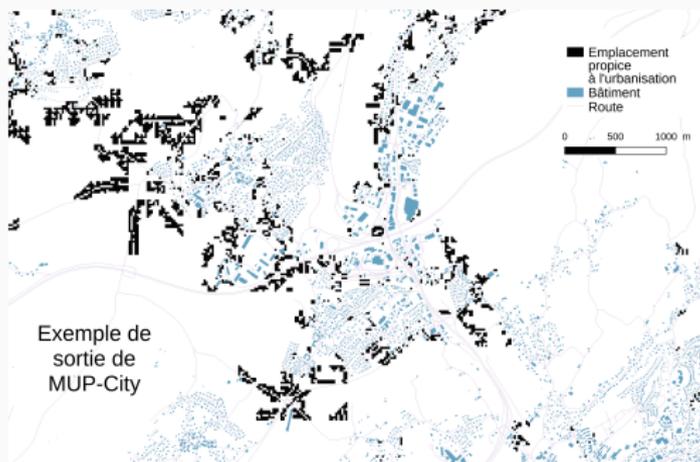
ArtiScales

**MUP-City et l'indentification
d'emplacements pour le développement
résidentiel**

MUP-City : principes et objectifs



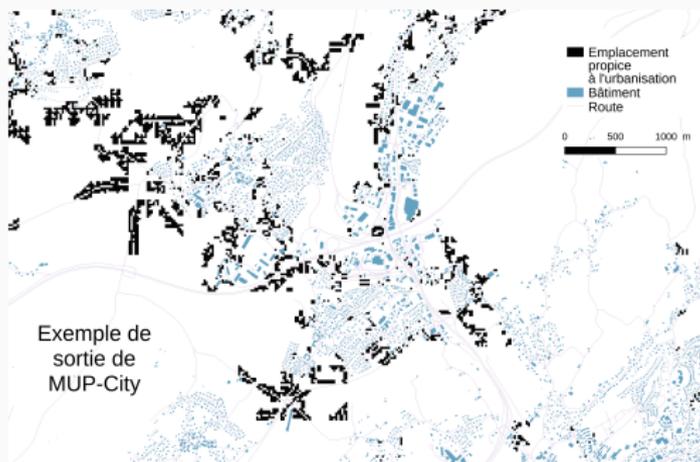
- Propose une **organisation spatiale locale** de développement résidentiel pour une **région urbaine**



MUP-City : principes et objectifs



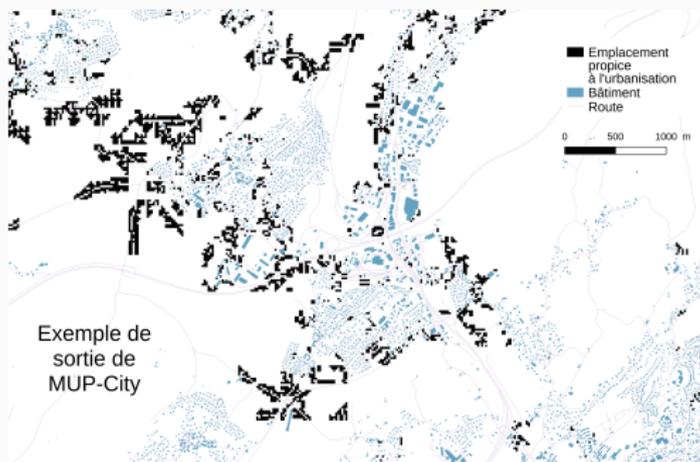
- Propose une **organisation spatiale locale** de développement résidentiel pour une **région urbaine**
 - organisation fractale



MUP-City : principes et objectifs



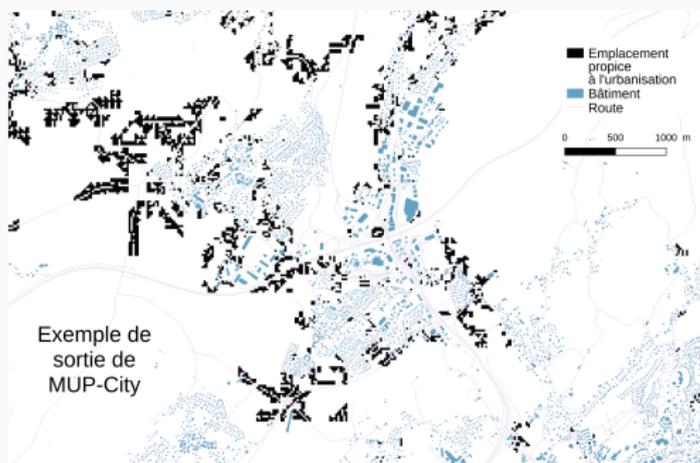
- Propose une **organisation spatiale locale** de développement résidentiel pour une **région urbaine**
 - organisation fractale
 - accessibilité à diverses aménités



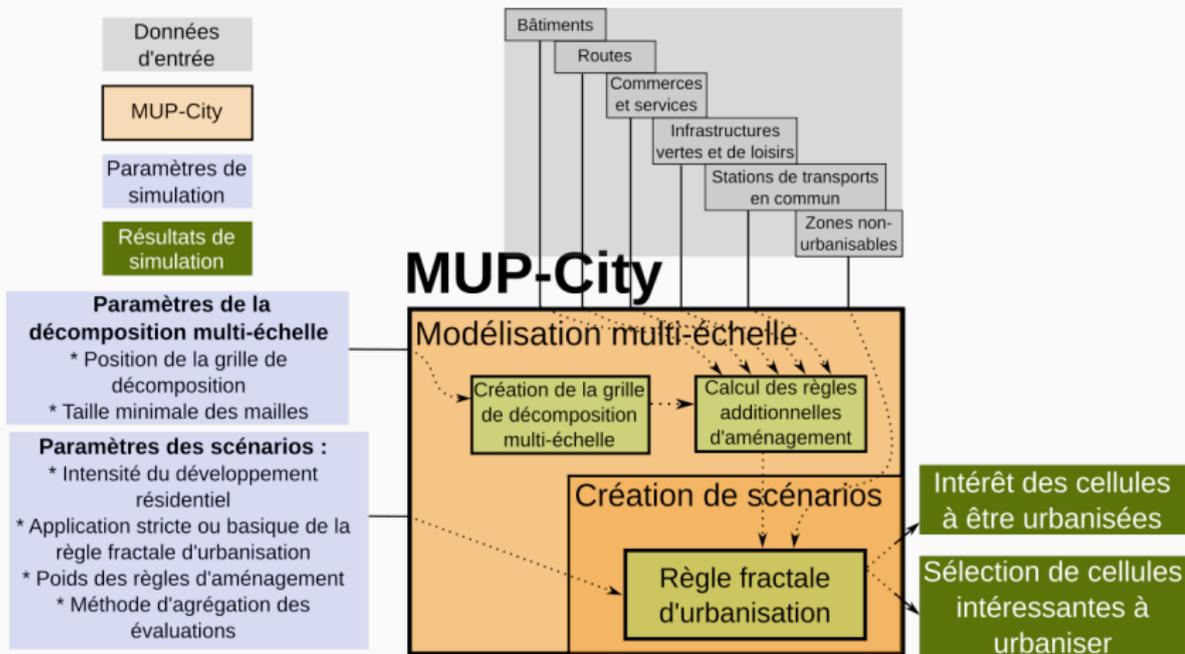
MUP-City : principes et objectifs



- 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



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

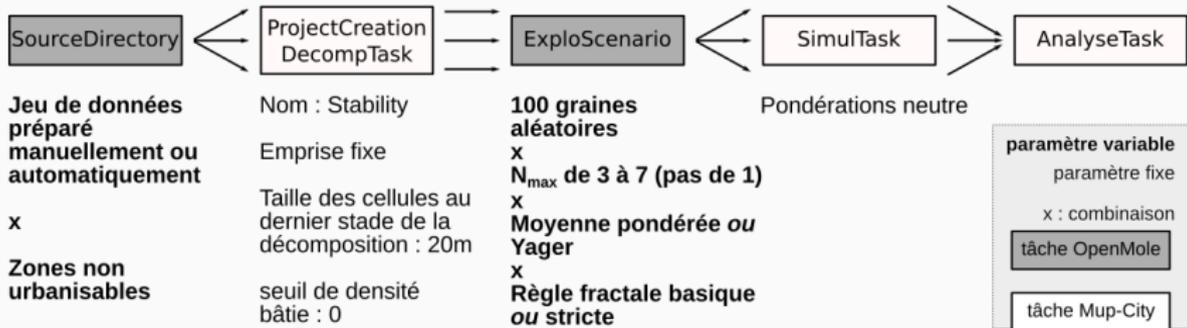


exemple de variations stochastiques des résultats de MUP-City

Variabilité de MUP-City

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

Exécution automatisé des processus du modèle pour mener une analyse de variabilité



exemple de *workflow* pour l'exploration de la stabilité de MUP-City sur la plateforme OpenMOLE (Reuillon 2013)

ArtiScales

**Parcel Manager pour la gestion du
parcellaire**

Parcel Manager



Présentation du modèle

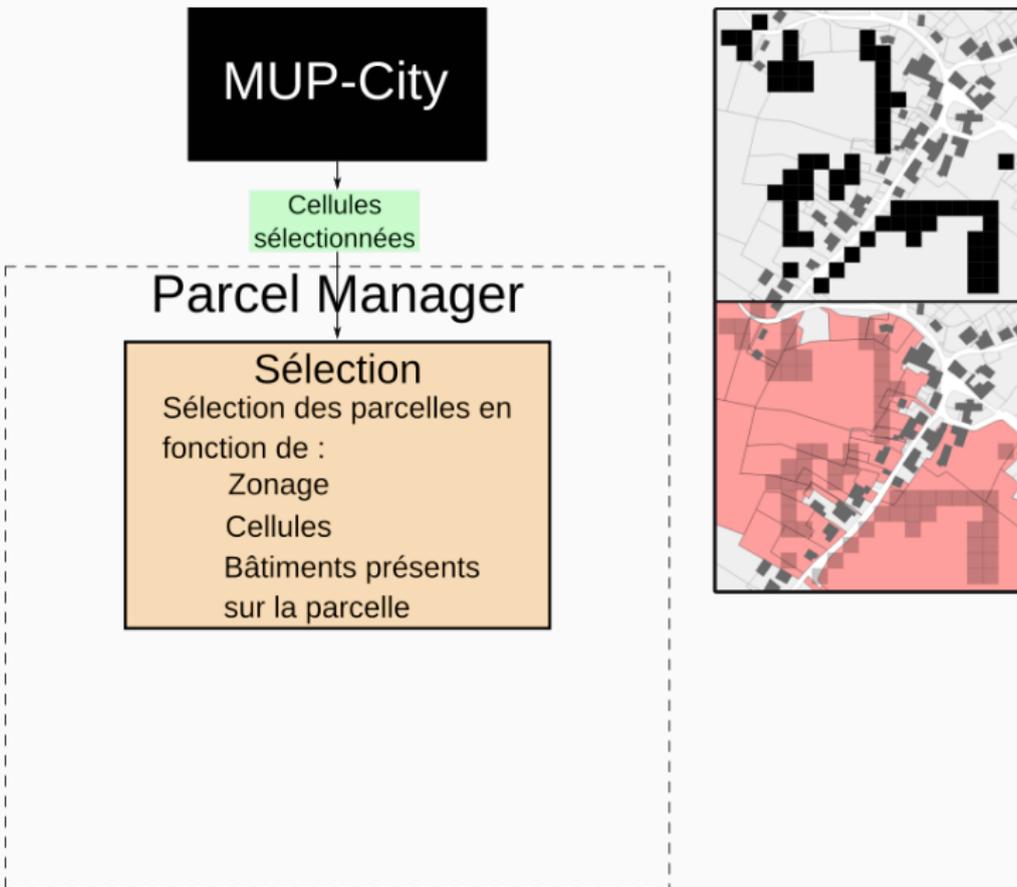
MUP-City

Cellules
sélectionnées

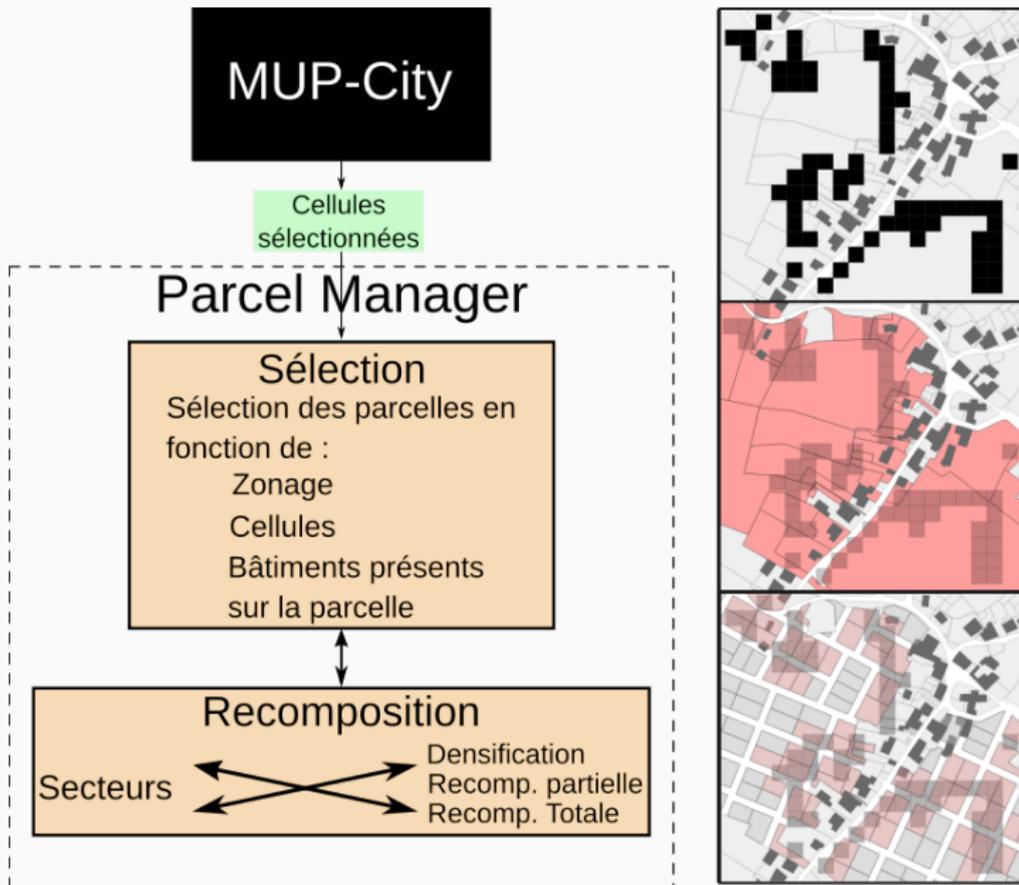
Parcel Manager



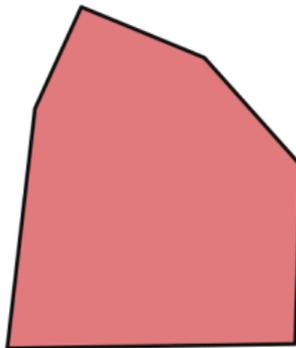
Présentation du modèle



Présentation du modèle

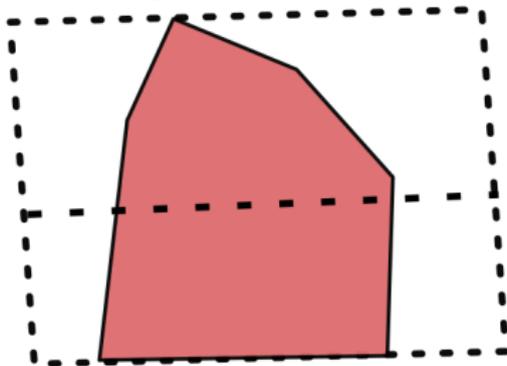


Parcelle initiale



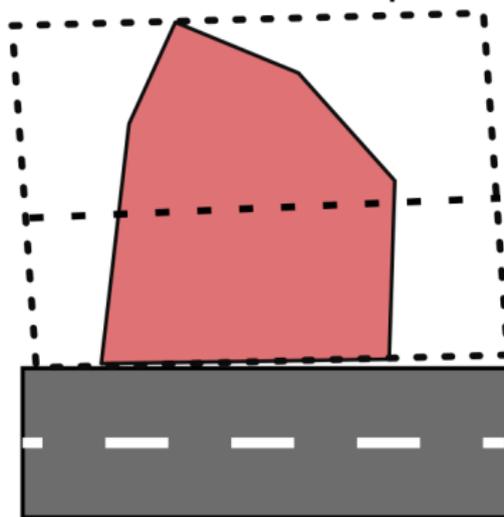
Algorithme de découpage parcellaire

Boite englobante orientée
et séparée en deux



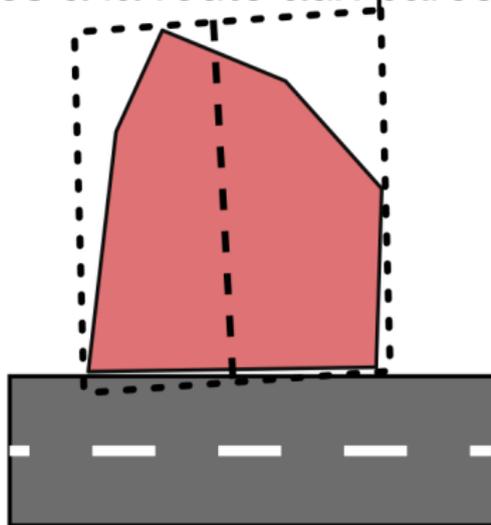
Algorithme de découpage parcellaire

Cherchant a donner un accès à la route aux parcelles



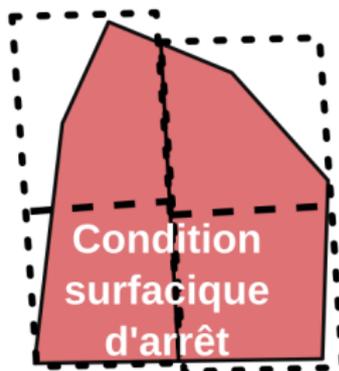
Algorithme de découpage parcellaire

Cherchant a donner un accès à la route aux parcelles



Algorithme de découpage parcellaire

Processus itératif

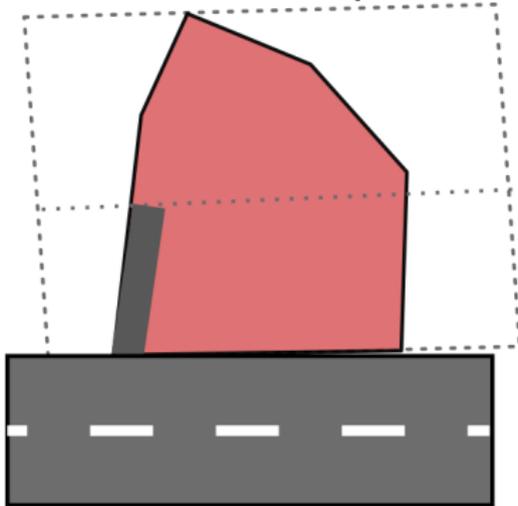


création de voirie?



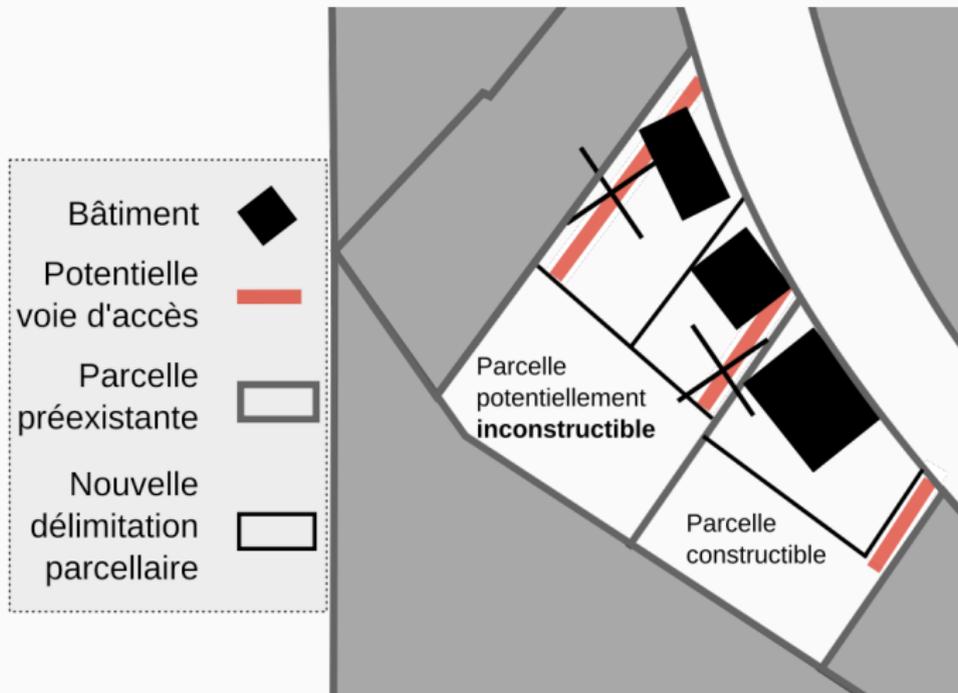
Algorithme de découpage parcellaire

Possibilité de générer une route
sur un côté de la parcelle ?



Mécanismes de recomposition parcellaire

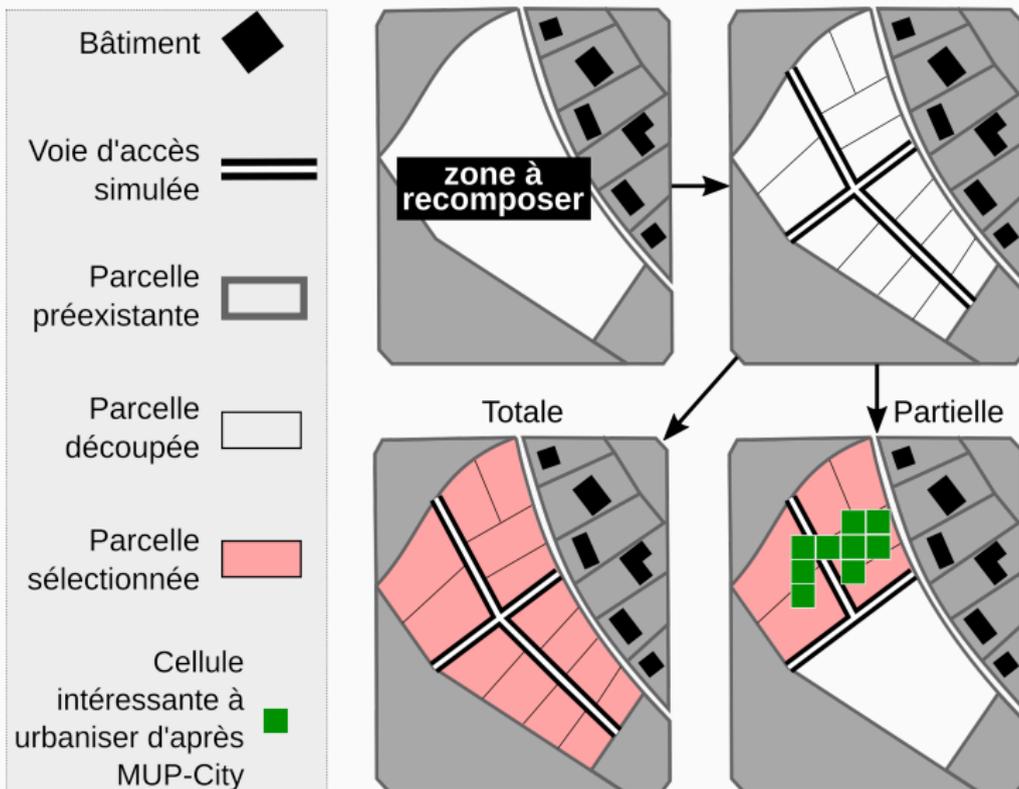
- **Densification**
- Recomposition parcellaire totale
- Recomposition parcellaire partielle



Mécanismes de recomposition parcellaire

- Densification
- **Recomposition parcellaire totale**
- **Recomposition parcellaire partielle**

Recomposition parcellaire totale et partielle

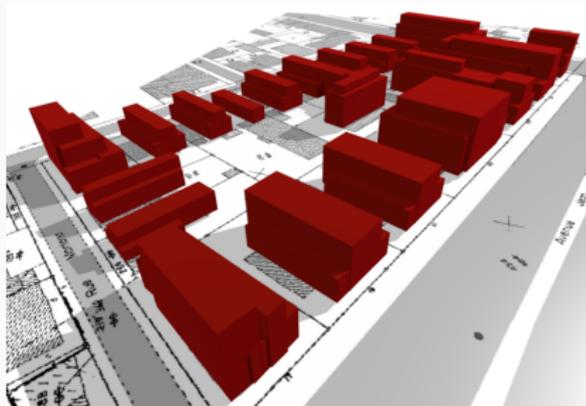


ArtiScales

SimPLU3D et la simulation de bâtiments

SimPLU3D

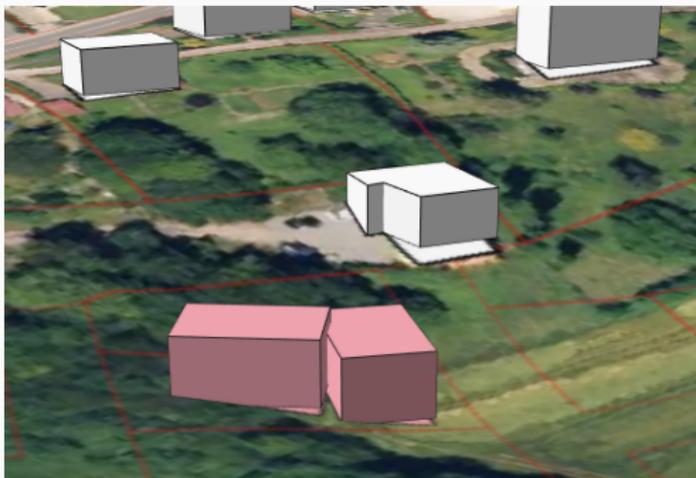
- Génère un ensemble de bâtiments selon
 - les **contraintes réglementaires**
 - un type de forme prédéterminé
- Optimise certains paramètres afin de poursuivre différents **objectifs de construction**
- Simule le comportement d'agents constructeurs



Formes prédéterminées des bâtiments

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

Maison isolée

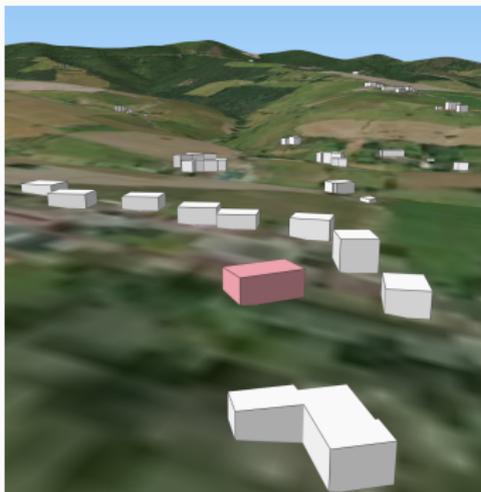


logement individuel

Formes prédéterminées des bâtiments

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

Pavillon de lotissement



logement individuel

Formes prédéterminées des bâtiments

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

Immeuble d'habitat intermédiaire



[2 – 9] logements

Formes prédéterminées des bâtiments

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

Petit immeuble collectif



[5 – 30] logements

Formes prédéterminées des bâtiments

Adapter la **forme des bâtiments** simulés aux secteurs

Cinq types de bâtiments proposés :

Immeuble collectif de taille moyenne



[30 – 60] logements

Formes prédéterminées des bâtiments

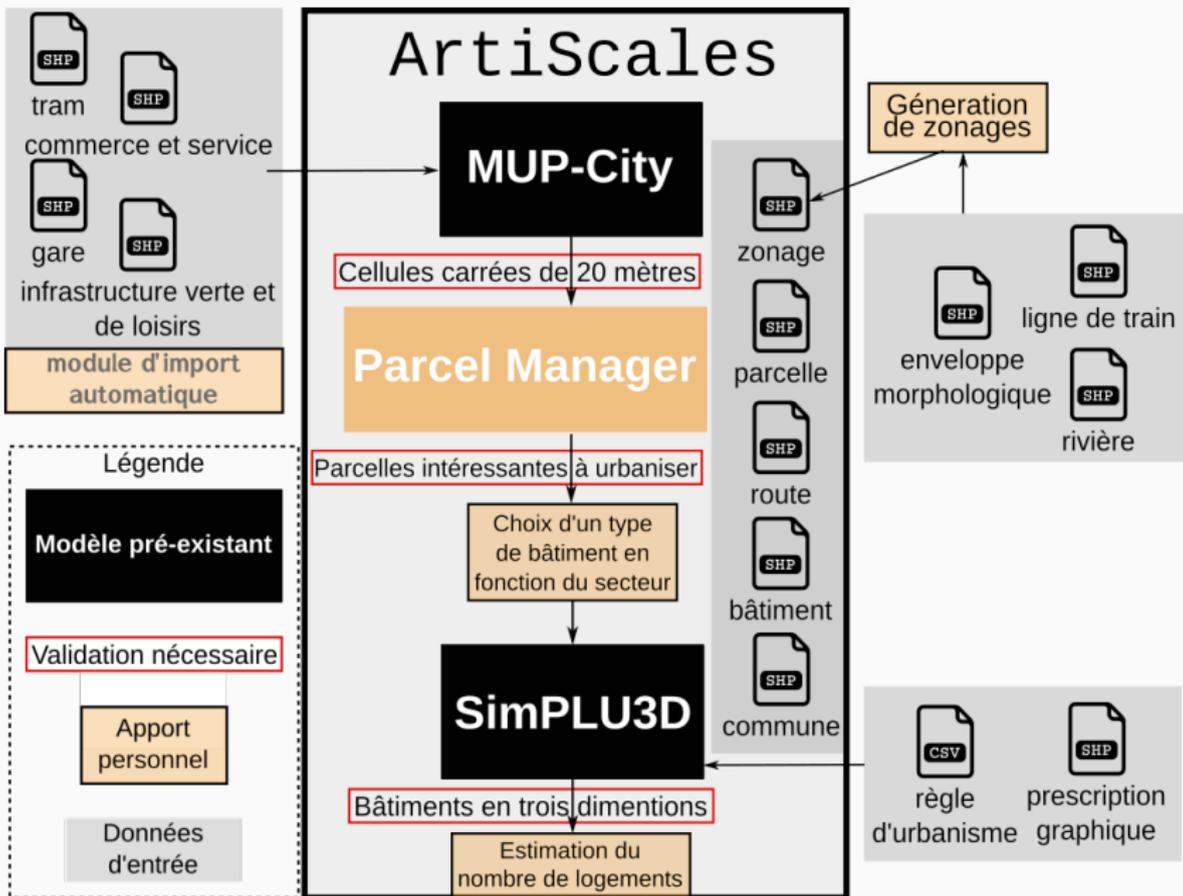
Unicité d'un bâtiment : contraintes non native

Temps de calculs importants ($\subset [5minutes - 20heures]$)

Estimation de 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

MUP-City: analyse de variabilité

Principes

Analyser la variation des résultats de simulation d'un modèle

Rechercher de la source de cette variabilité

MUP-City: analyse de 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

MUP-City: analyse de 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

Approche

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

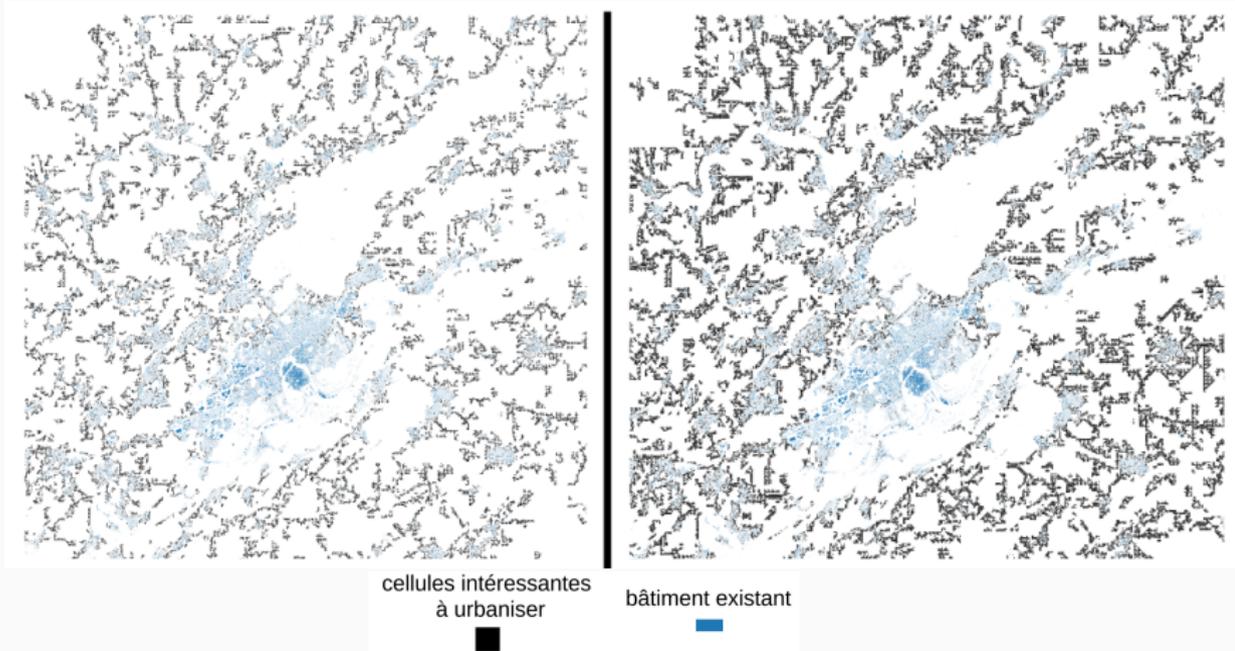
MUP-City : Paramètres techniques

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

1. Intensité du développement résidentiel

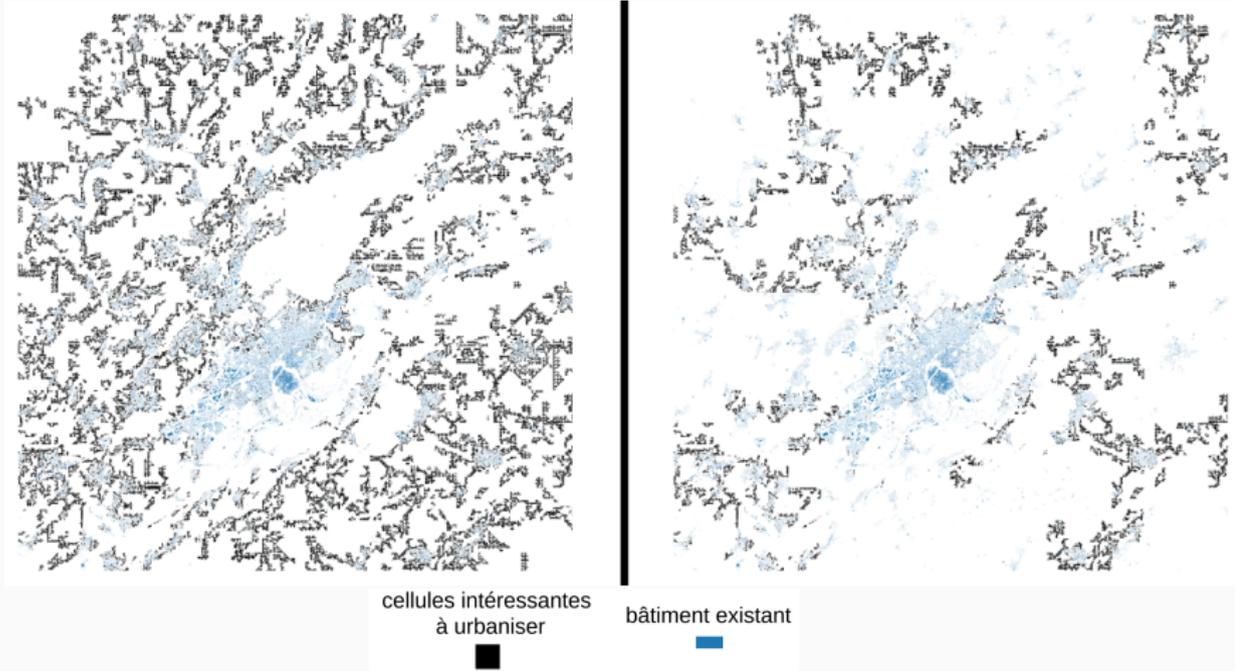
MUP-City : intensité du développement résidentiel



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

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

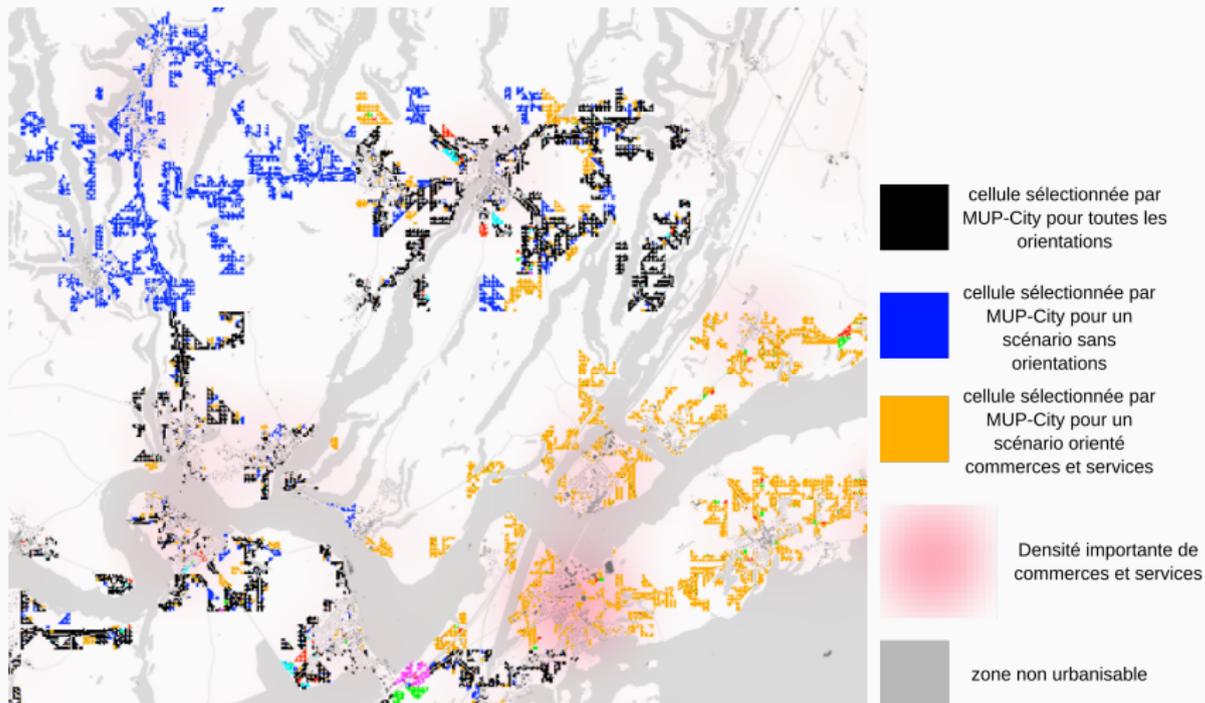
MUP-City : uniformité du développement résidentiel



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

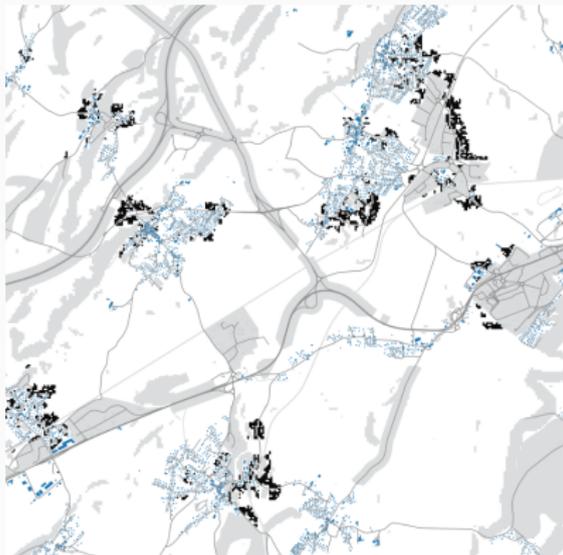
MUP-City : orientation du développement résidentiel



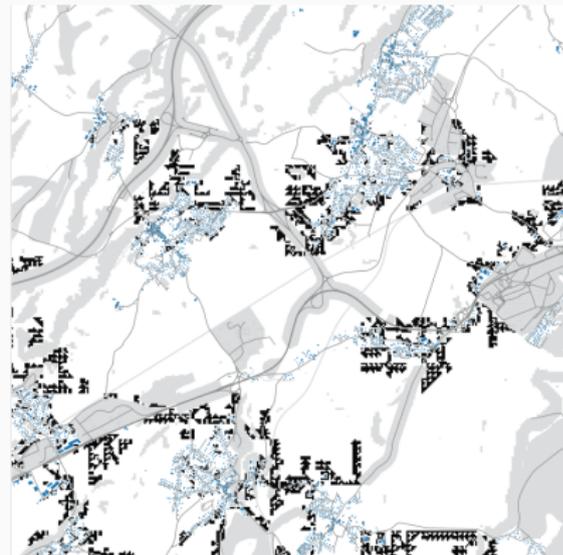
Exemple de différentes orientations poursuivies par le développement résidentiel

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



méthode de Yager (1977) (évaluation minimale)



méthode des moyennes pondérées



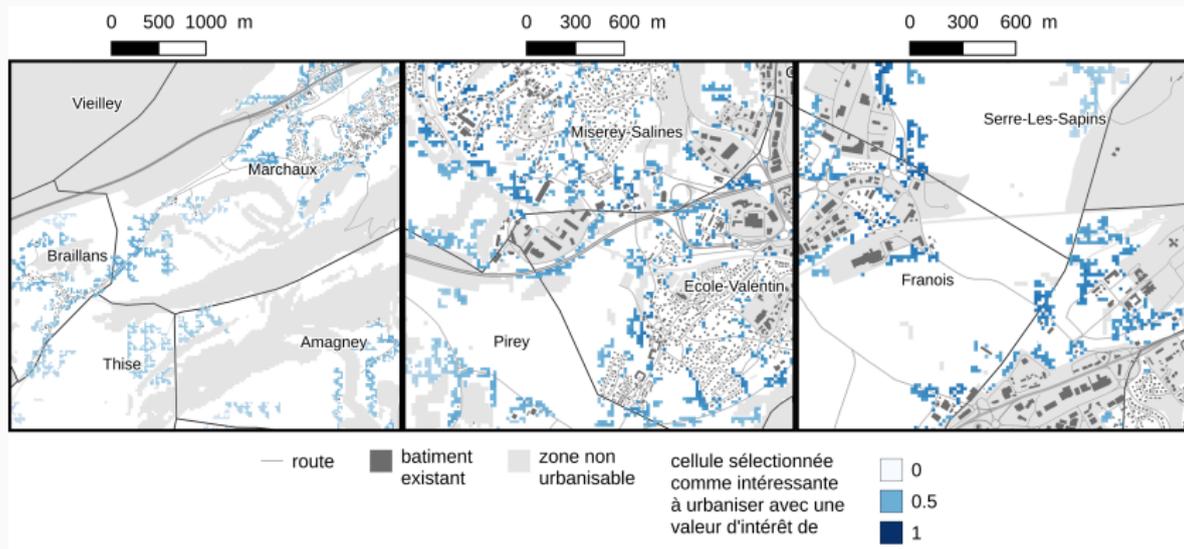
Indicateurs utilisés

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

Validation de différentes configurations spatiales de MUP-City

Scénario d'étalement résidentiel

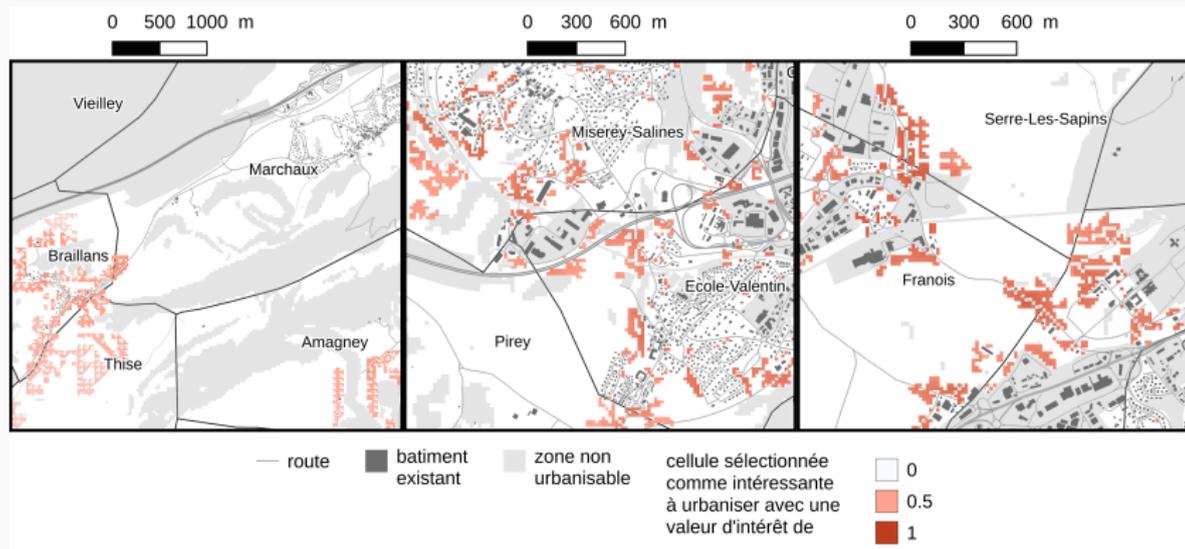
Scénario de développement résidentiel **uniforme, peu intense et extensif** :



Validation de différentes configurations spatiales de MUP-City

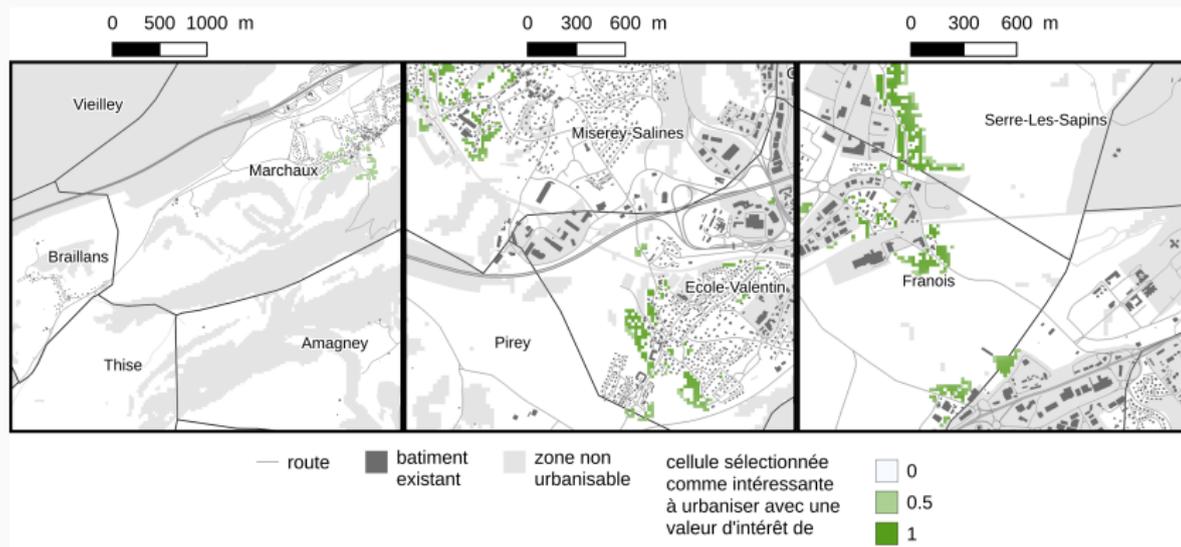
Scénario de **développement** résidentiel **ciblée**

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



Scénario d'intensification de la densité résidentielle

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



MUP-City : variabilité due aux paramètres techniques

Combinaison des paramètres techniques aux scénarios définis

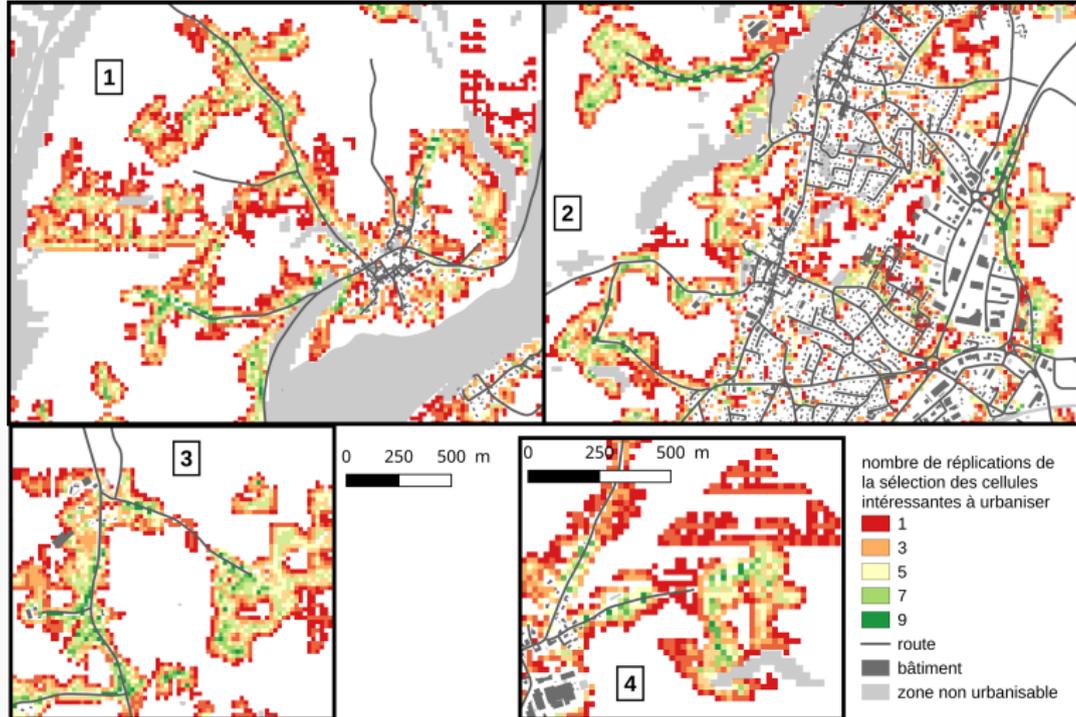
Indicateurs :

- 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'autres paramètres techniques

MUP-City : variabilité due aux paramètres techniques



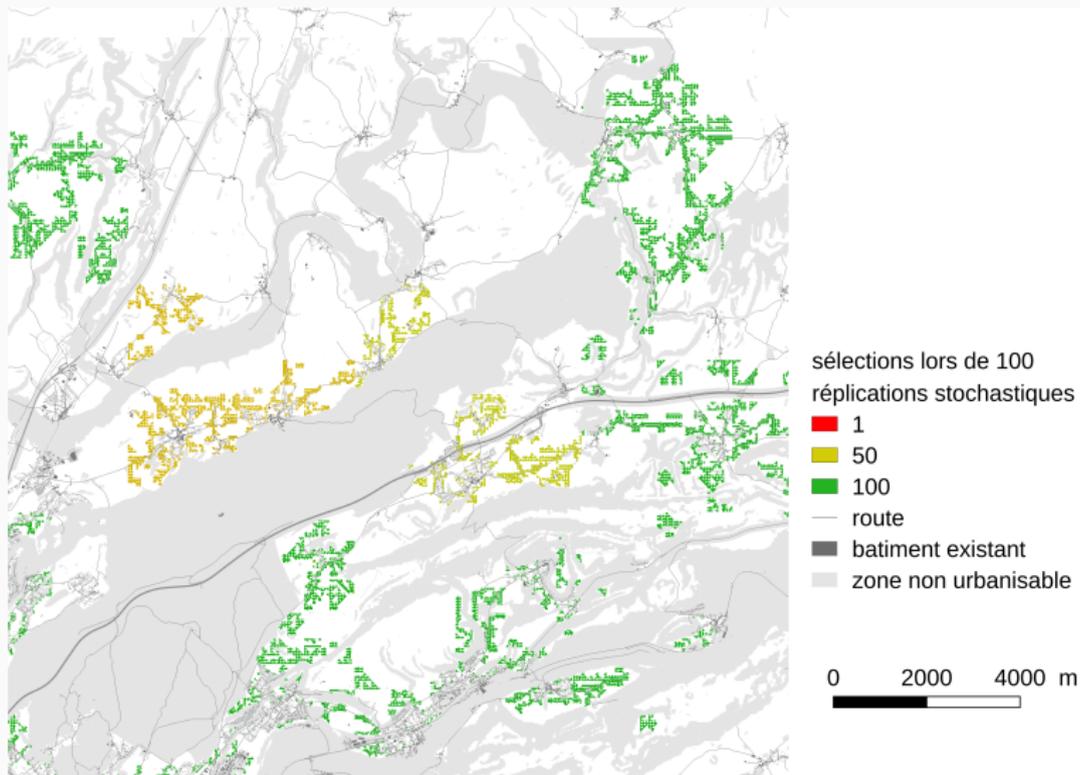
exemple de l'application d'un décalage de 20 mètres à la grille de décomposition

MUP-City : variabilité due aux paramètres techniques

Scénario de **développement** résidentiel **ciblé**

- Variable selon la position éloignée de la grille de décomposition
- Très variable selon la taille des cellules
- Potentiellement très variable du fait du **caractère aléatoire**

MUP-City : variabilité due aux paramètres techniques



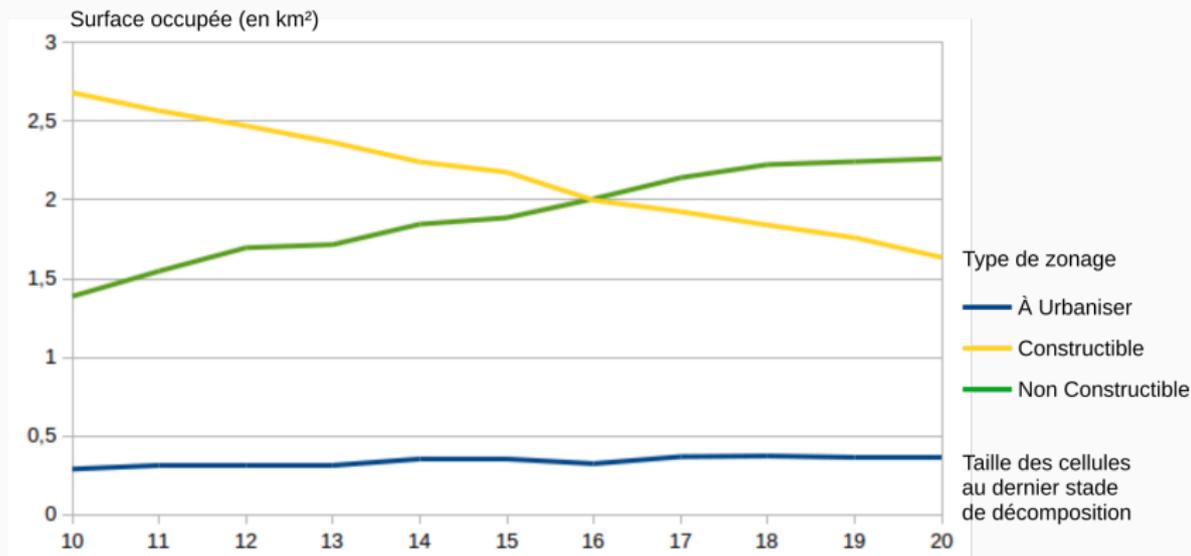
exemple de répliques stochastique

MUP-City : variabilité due aux paramètres techniques

Scénario d'**intensification** de la densité résidentielle

- Variable du fait du **caractère aléatoire**
- Localement très sensible à la position de la grille de décomposition
- Taille des cellules selon différents types de zonage

MUP-City : variabilité due aux paramètres techniques



surface de cellules sélectionnée selon différents types de zonage

Conclusion

La variation des paramètres techniques n'ont pas les mêmes effets selon les scénarios

MUP-City : conclusion de l'analyse de variabilité

Conclusion

La variation des paramètres techniques n'ont pas les mêmes effets selon les scénarios

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

MUP-City : conclusion de l'analyse de variabilité

Conclusion

La variation des paramètres techniques n'ont pas les mêmes effets selon les scénarios

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

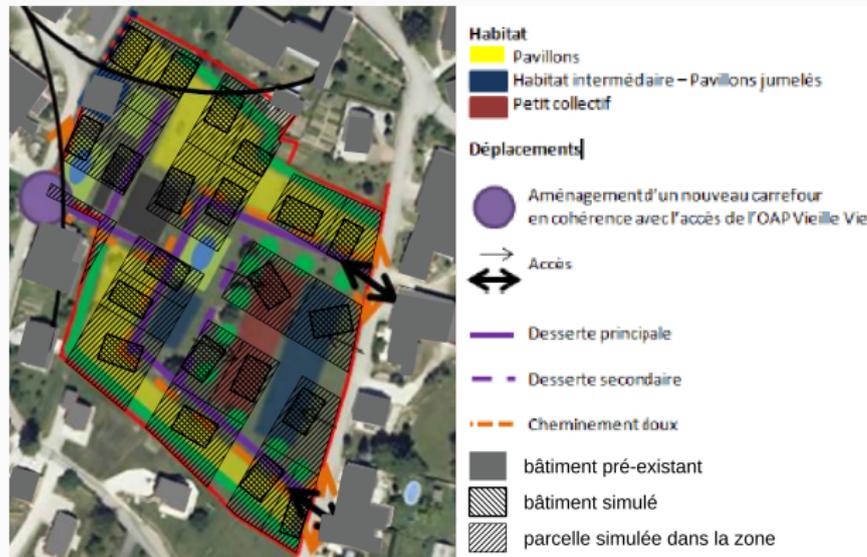
Validation thématique de ces scénarios

Validation des modules d'ArtiScales

Validation du Parcel Manager

Validation du Parcel Manager

Application de l'algorithme sur l'ensemble des zones AU et comparaison visuelle avec certaines opérations spéciales d'aménagement



comparaison du mécanisme de recomposition parcellaire totale appliqué sur les zones AU avec un OAP de *la tour de Sçay*

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-calcul si incompatibilité
- **Validation thématique** de ces définitions de type de bâtiment

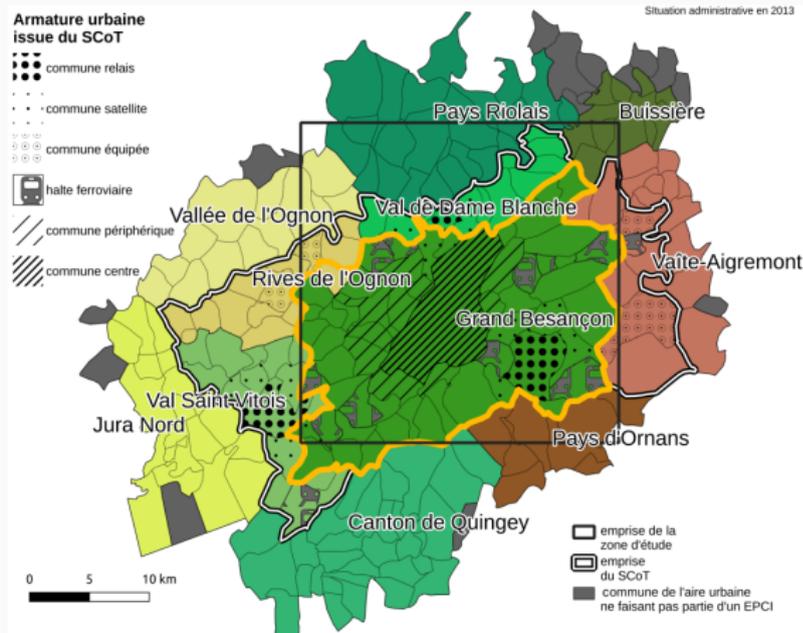
Expérimentation d'ArtiScales sur l'aire urbaine de Besançon

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

Application à l'aire urbaine de Besançon
 Données d'entrées du modèle : 2012



ArtiScales : Exécution du code informatique

Nécessité d'une grande puissance de calcul

Distribution sur divers environnements grâce à OpenMOLE

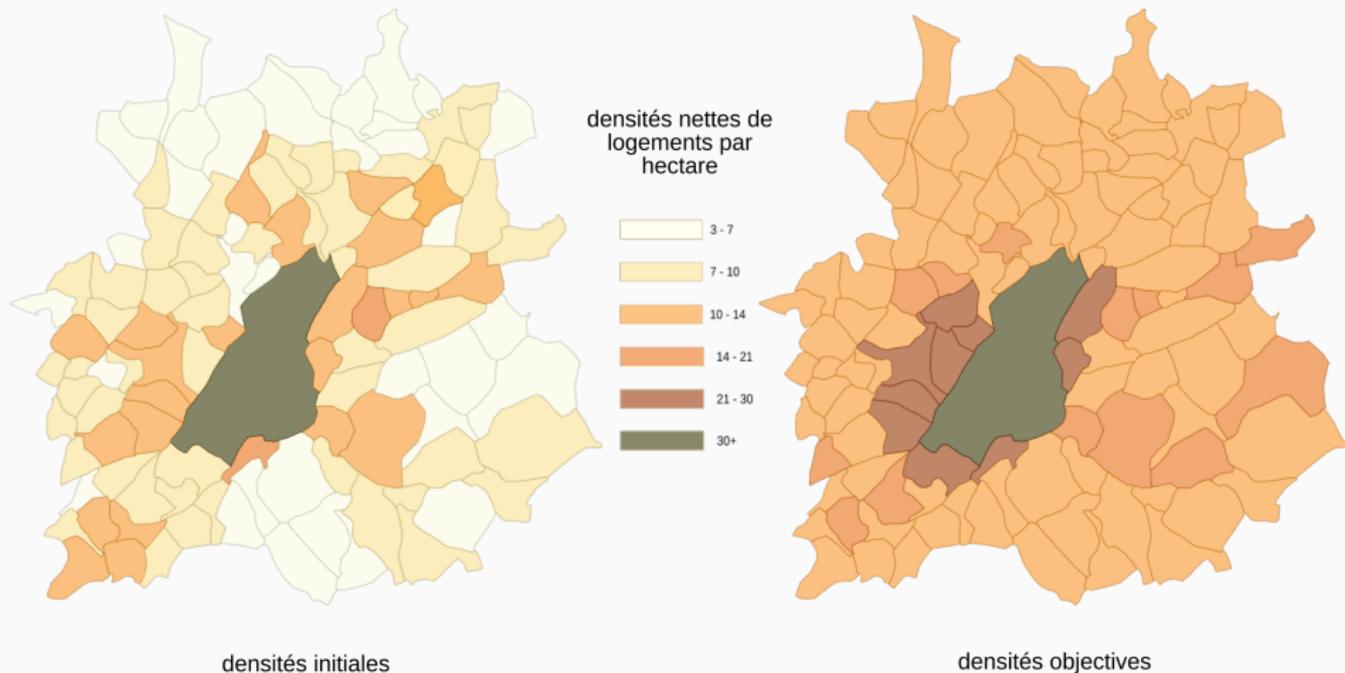
- Grille de calcul européenne
- Cluster du LAL

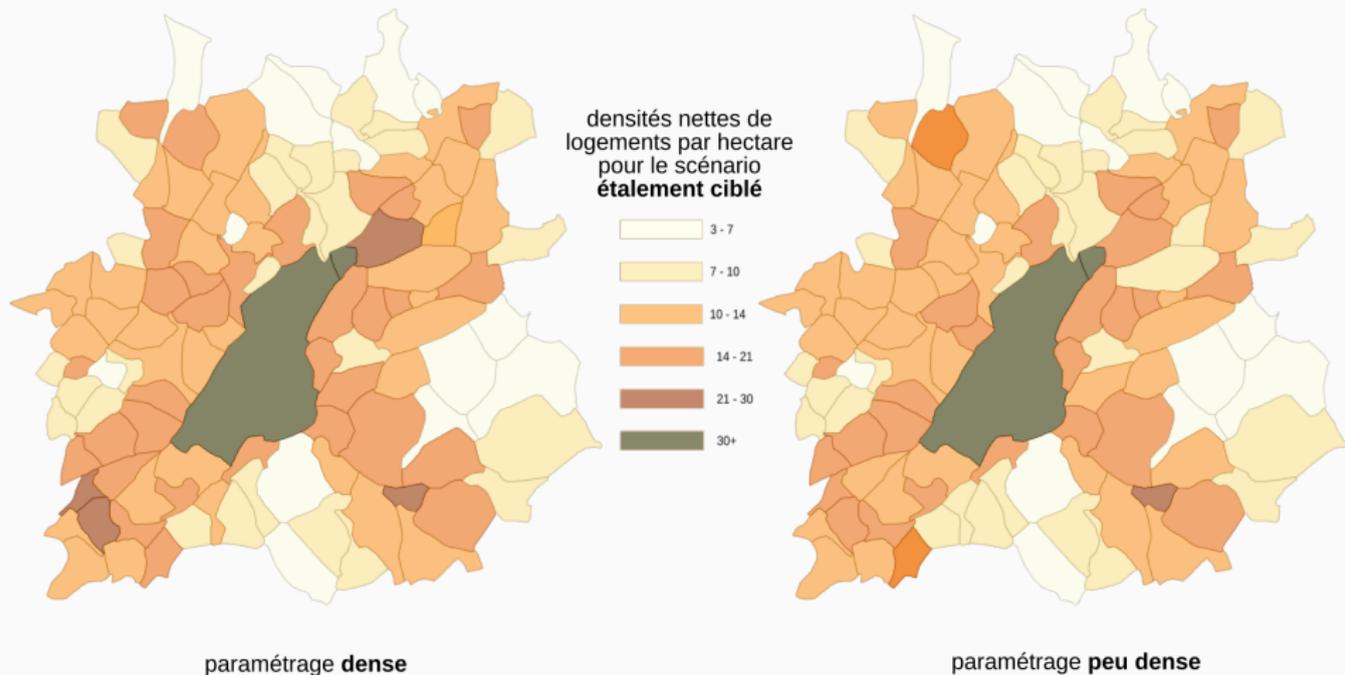
Deux scénarios de développement résidentiel (+ variantes)

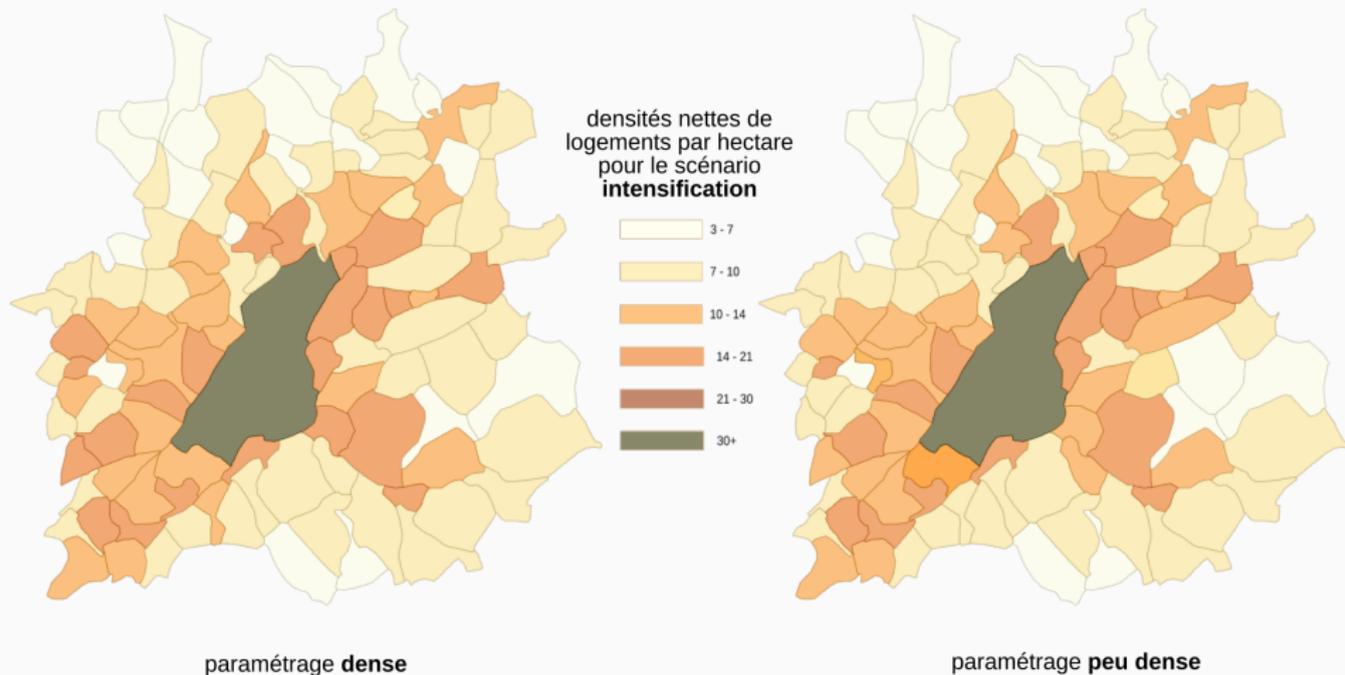
- Développement ciblée (développement résidentiel **contrasté**, **intense** et **extensif**)
- Intensification (développement résidentiel **peu extensif** mais **uniforme** et **très intense**)

Deux paramétrages de Parcel Manager et SimPLU3D

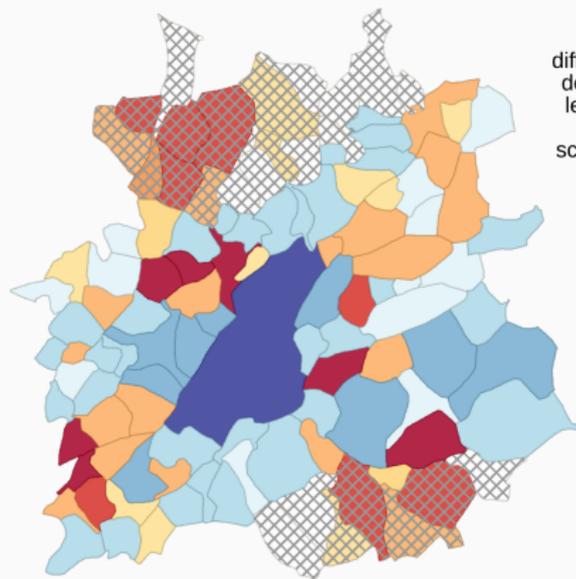
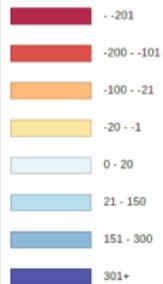
- Forte augmentation de la densité
- Augmentation modérée de la densité



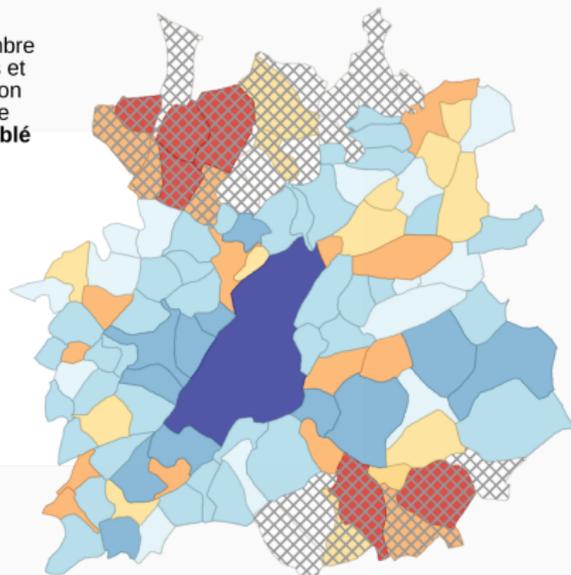




différence entre le nombre de logements simulés et les objectifs de création de logements pour le scénario **étalement ciblé**



paramétrage **dense**



paramétrage **peu dense**

ArtiScales : Simulation de logements

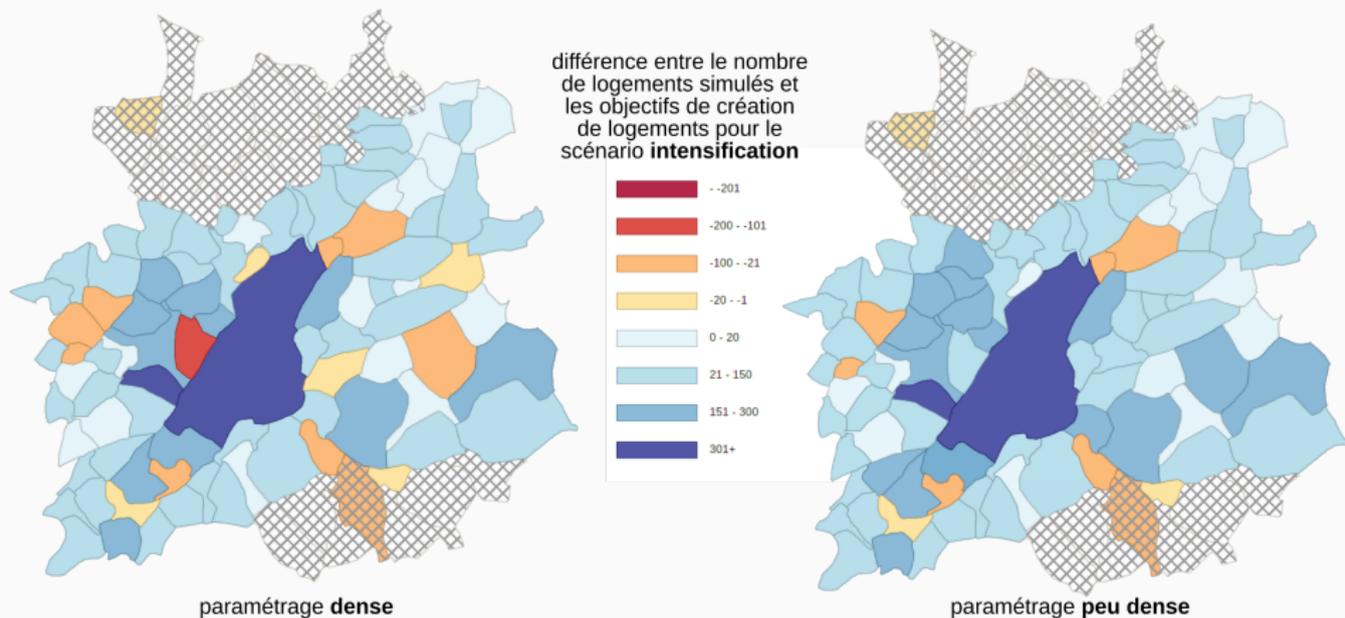


Table 1: Comparaison de la création de logements mesurée par le SCoT avec les estimations des simulations d'ArtiScales

Typologie de l'armature	Densité moyenne simulée pour le scénario :			étalement ciblé		intensification	
	Objectif SCoT ans	du sur 25	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

ArtiScales : Simulation de logements

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 SCoT sur ans	du 25	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 : Simulation de logements

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 :		Nombre de logements produits en 4 ans ¹	étalement ciblé		intensification	
	Objectif SCoT sur 25 ans	du 25 ans		paramétrage dense	paramétrage modérément dense	paramétrage dense	paramétrage modérément dense
Ville centre	18 200 (7 280)		2 621 -2%	2 841	3 891	3 192	3 777
Communes périphériques	3 500 (1 400)		505 -2%	2 017	1 519	1 764	1 425
Communes relais	1 250 (500)		147 -4%	402	489	331	356
Communes équipées	600 (240)		42 -9%	123	21	102	17
Halte ferroviaire	2 200 (880)		328 -1%	3 248	948	1 207	613
Commune hors armature	5 250 (2 100)		1 055 +4%	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

ArtiScales : Simulation de logements

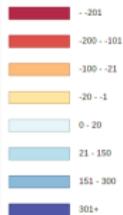
Table 1: Comparaison de la création de logements mesurée par le SCoT avec les estimations des simulations d'ArtiScales

Typologie de l'armature	Densité moyenne simulée pour le scénario :		Nombre de logements produits en 4 ans ¹	étalement ciblé		intensification	
	Objectif SCoT ans	du sur 25 ans		paramétrage dense	paramétrage modérément dense	paramétrage dense	paramétrage modérément dense
Ville centre	18 200 (7 280)		2 621-2%	2 841	3 891	3 192	3 777
Communes périphériques	3 500 (1 400)		505 -2%	2 017	1 519	1 764	1 425
Communes relais	1 250 (500)		147 -4%	402	489	331	356
Communes équipées	600 (240)		42 -9%	123	21	102	17
Halte ferroviaire	2 200 (880)		328 -1%	3 248	948	1 207	613
Commune hors armature	5 250 (2 100)		1 ⁰⁵⁵ +4%	4 274	1 908	3 511	1 433

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

ArtiScales : Comparaison avec les variantes

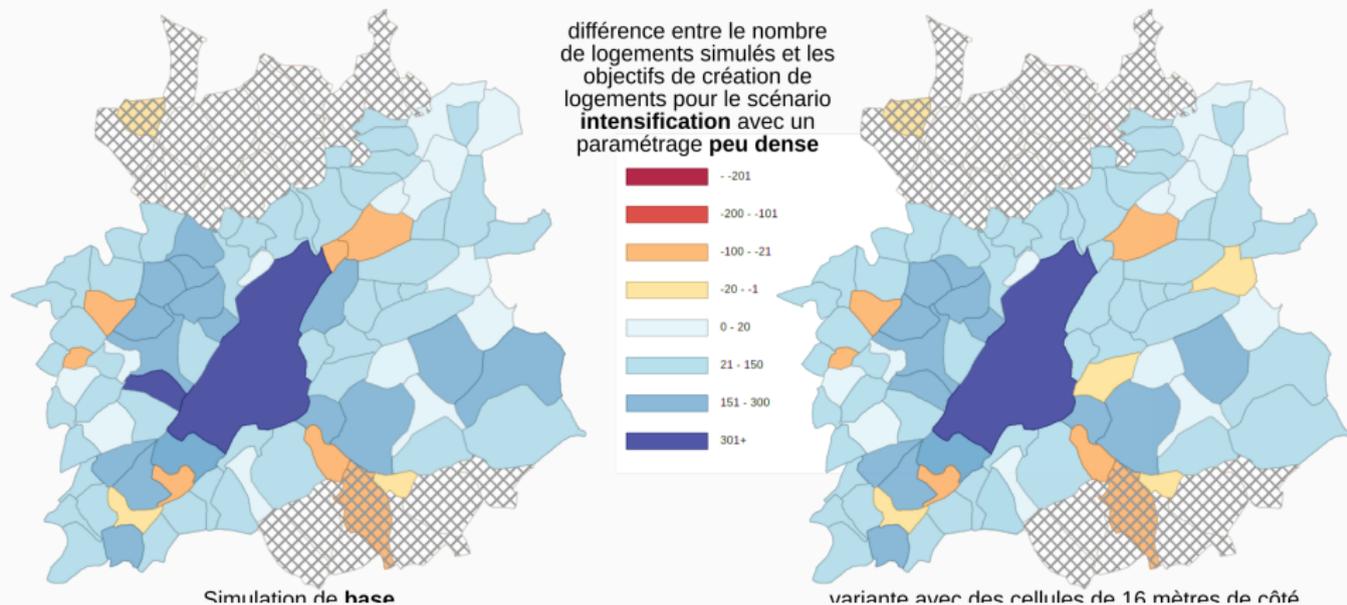
différence entre le nombre
de logements simulés et
les objectifs de création
de logements pour le
scénario **étalement ciblé**



Simulation de base

Variante stochastique

ArtiScales : Comparaison avec les variantes

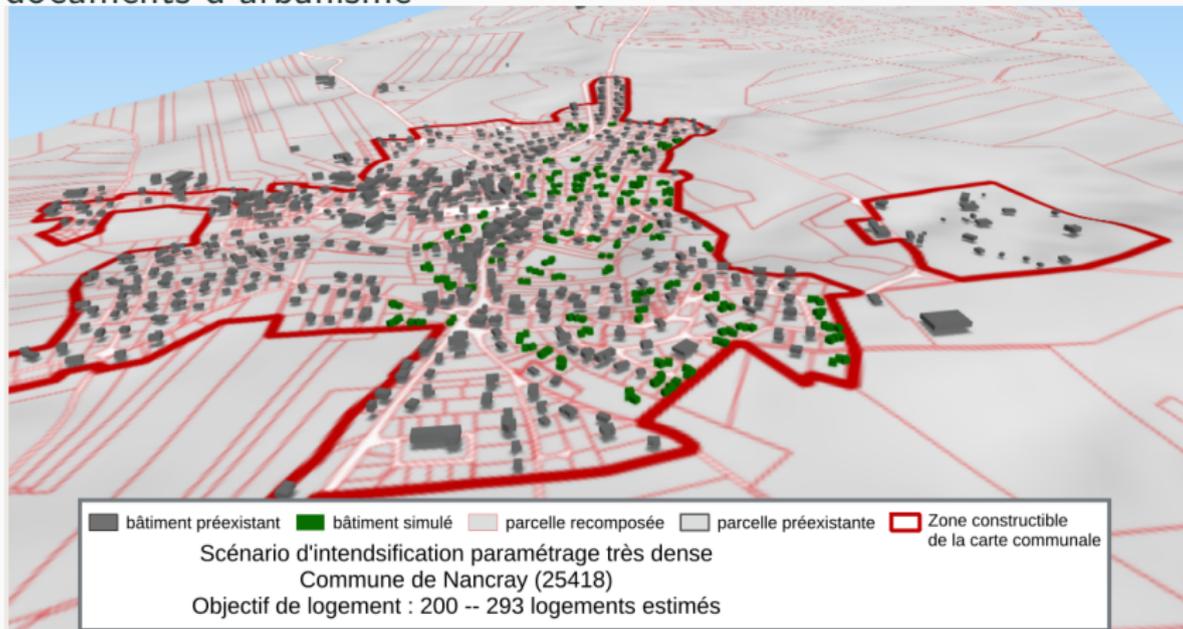


Expérimentation d'ArtiScales sur l'aire urbaine de Besançon

**Utilisation thématique des résultats
d'ArtiScales**

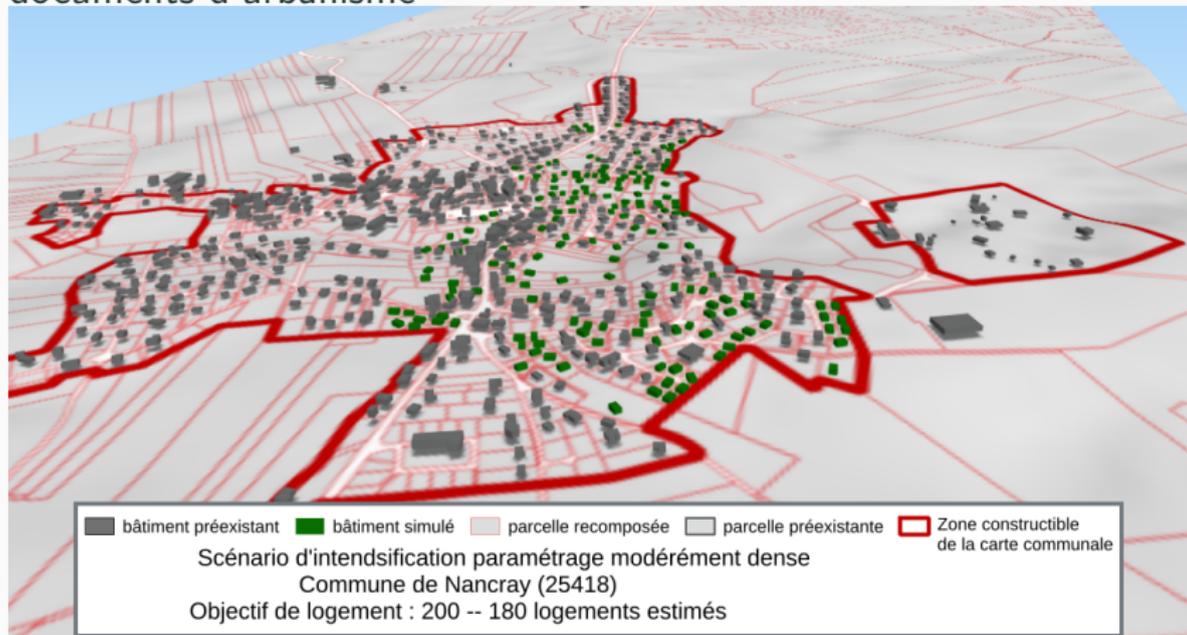
Incompatibilité entre les objectifs de création de logements et les documents d'urbanisme

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



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

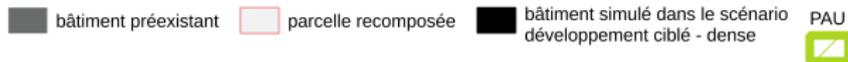


Incompatibilité entre les documents de création de logements et les documents d'urbanisme

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



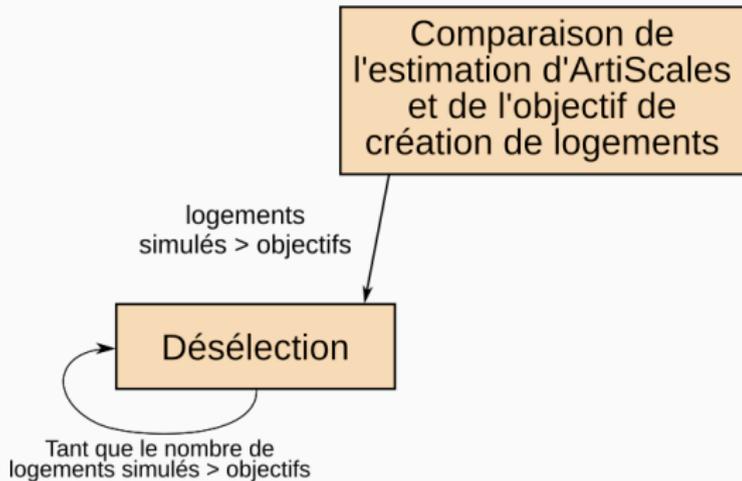
Incompatibilité entre les documents

Rétro-action sur le zonage

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

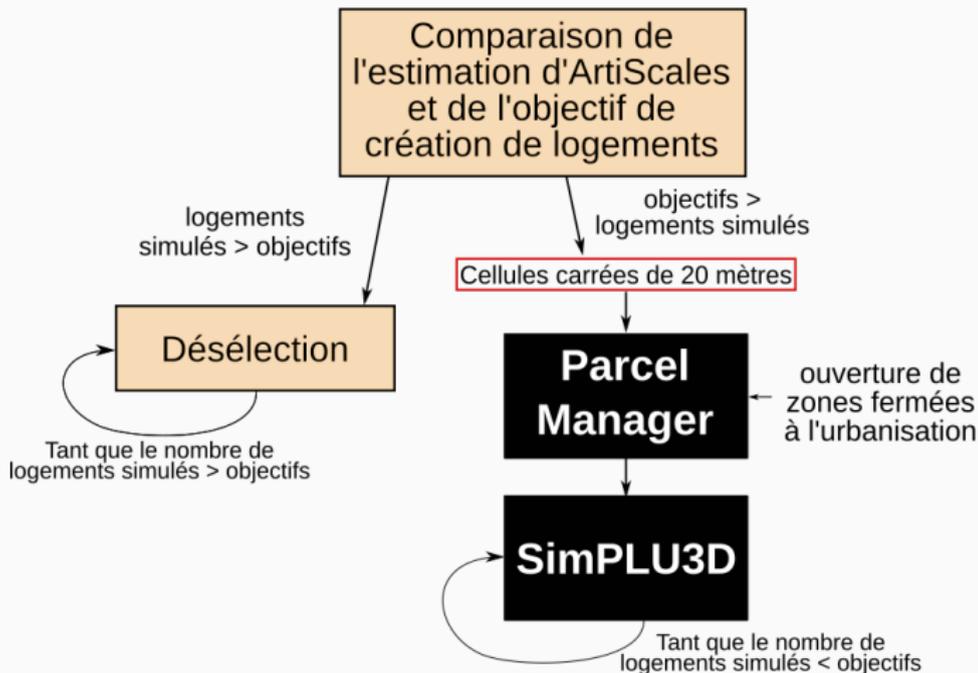
Incompatibilité entre les documents

Rétro-action sur le zonage



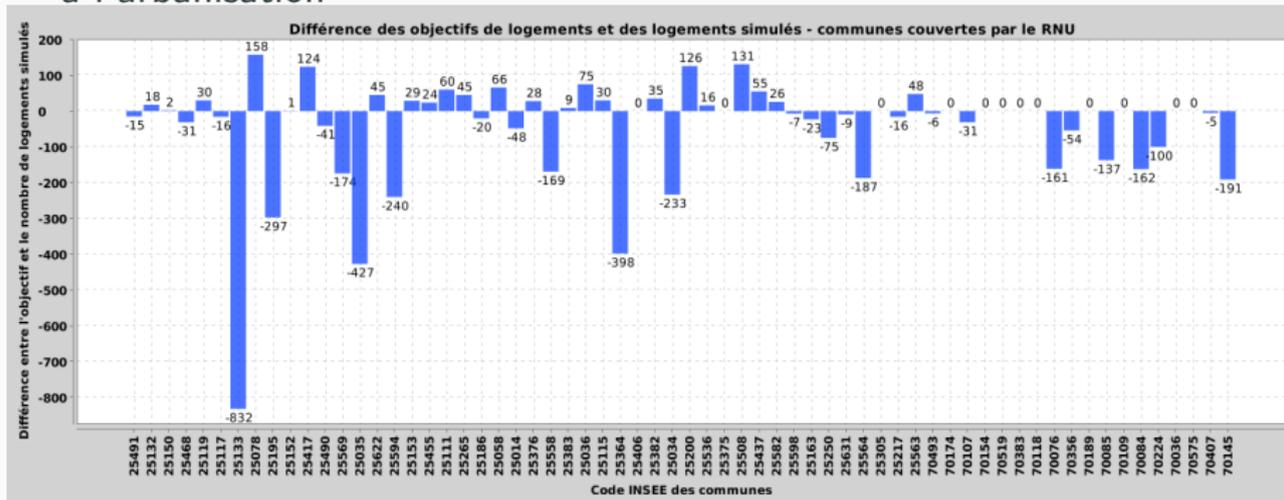
Incompatibilité entre les documents

Rétro-action sur le zonage



Détecter la nécessité d'un zonage

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



² dans 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 :

Possibilité de génération automatique de Cartes Communales

Génération automatique de zonage :

- enveloppe des parcelles urbanisées

Possibilité de génération automatique de Cartes Communales

Génération automatique de zonage :

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

Possibilité de génération automatique de Cartes Communales

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

Possibilité de génération automatique de Cartes Communales

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

Conclusion sur les modules utilisés par ArtiScales

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
 - Création d'un modèle de gestion parcellaire
- 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

Comparer certaines versions de documents en modifiant certaines contraintes des 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

Comparer certaines versions de documents en modifiant certaines contraintes des 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

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

Merci pour votre attention

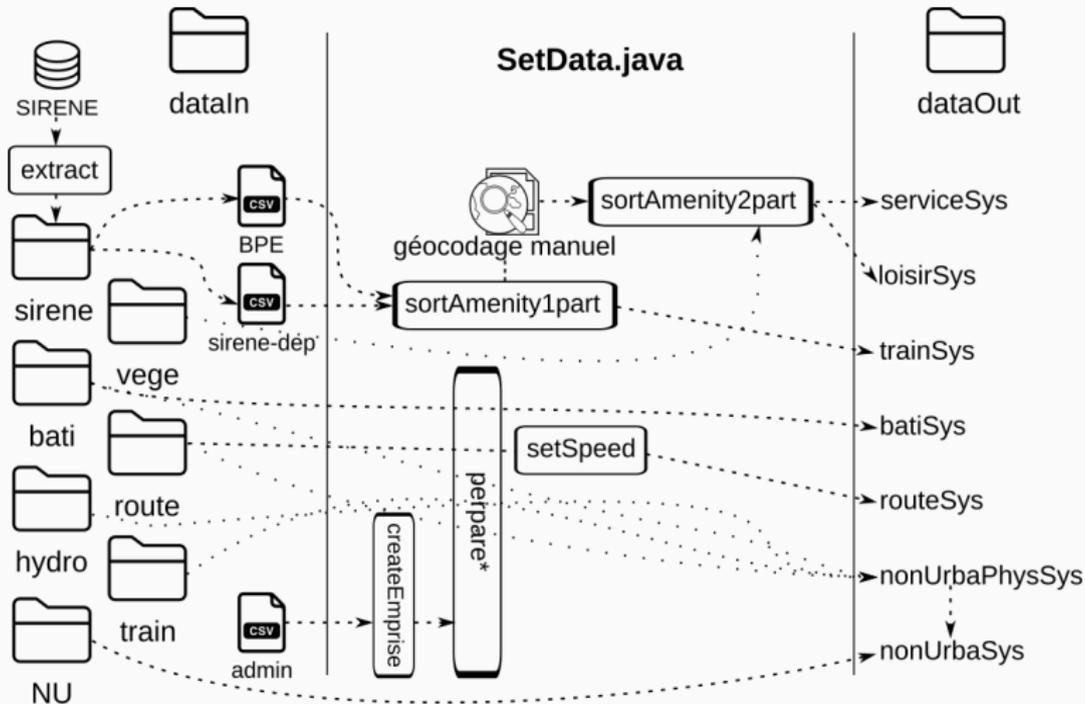
Everything we do is open source

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



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

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

Documents de planification régionale

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

Documents de planification régionale

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

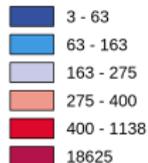
Relation de compatibilité entre ces deux documents

Documents de planification régionale - Exemple

Légende

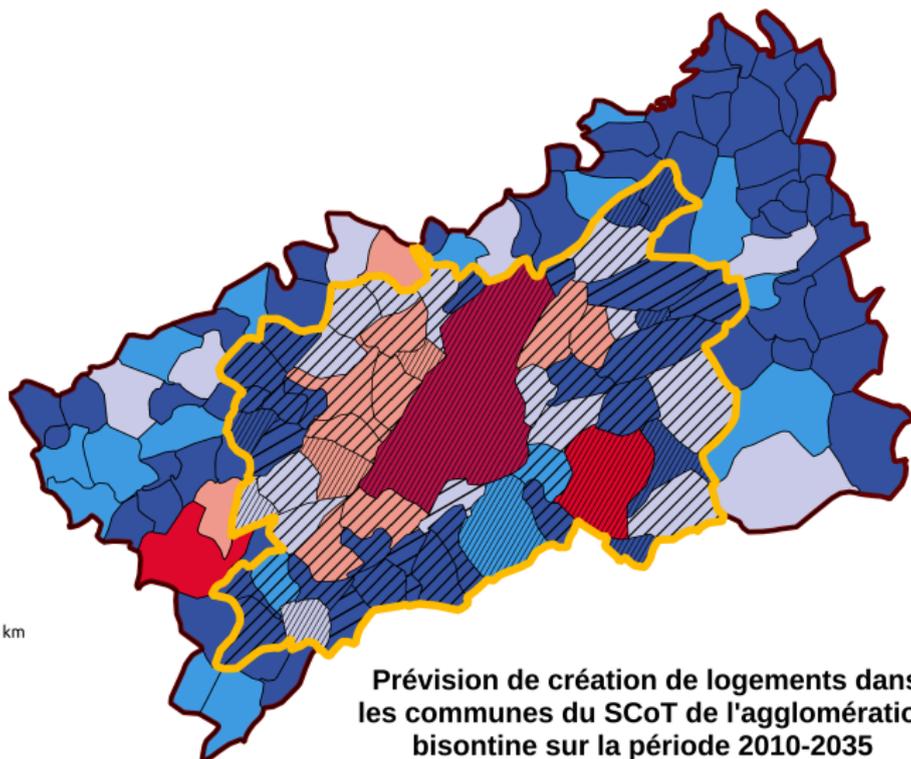
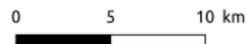
 Emprise du SCoT

**Nombre de logements
prévus par le SCoT**



 Emprise du PLH

**Logements à construire
par un acteur public
dans le PLH**



**Prévision de création de logements dans
les communes du SCoT de l'agglomération
bisontine sur la période 2010-2035**

Documents de planification locale - Les PLU

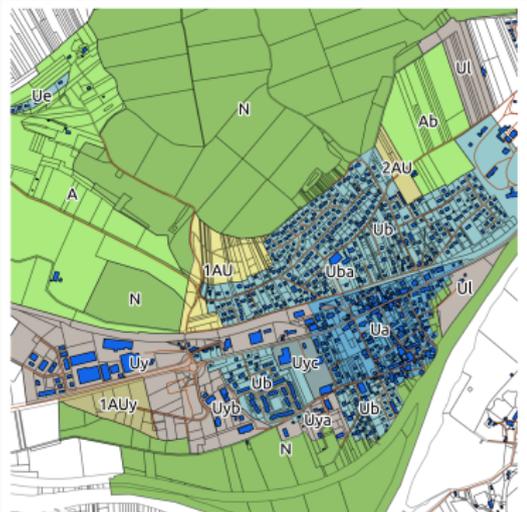
Le **Plan Local de l'Urbanisme (PLU)** détaille et spatialise les contraintes de constructibilité au sein d'une commune

- 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)**



Légende

- Bâtiment Zone du PLU
- Route
- A
- AU
- N
- U
- U non constructible

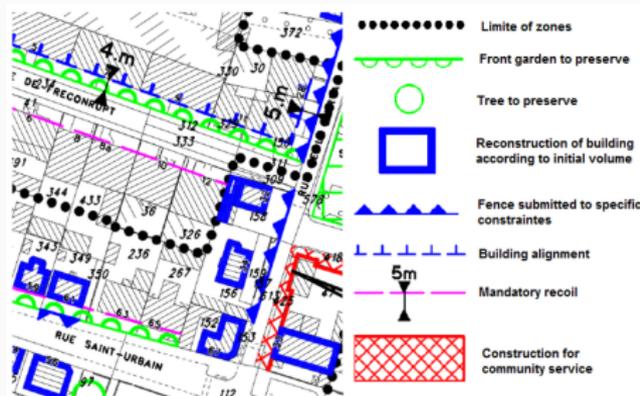
Plan de zonage du PLU de Roche-lez-Beaupré (25)

0 500 1000 m

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

Orientations d'Aménagement et de Programmation :
Définition de l'organisation pour l'urbanisation de certaines zones.

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

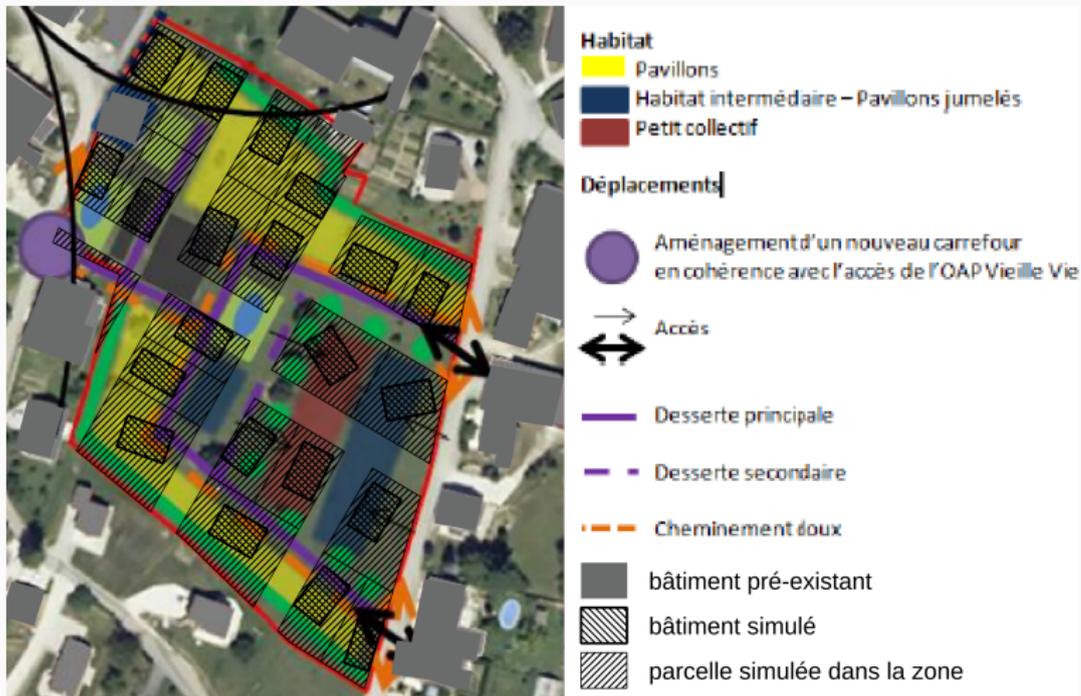


Illustration superposant l'OAP du *Champ Sera* à La Tour De Say (25640) et les résultats de la simulation provenant du scénario c avec le paramétrage induisant une *forte densité*

Table 2: Consommation foncière des différents scénarios

Scenario	Extension ciblée		Intensifi	
	forte	modérée	forte	r
Paramétrage densité				
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	

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

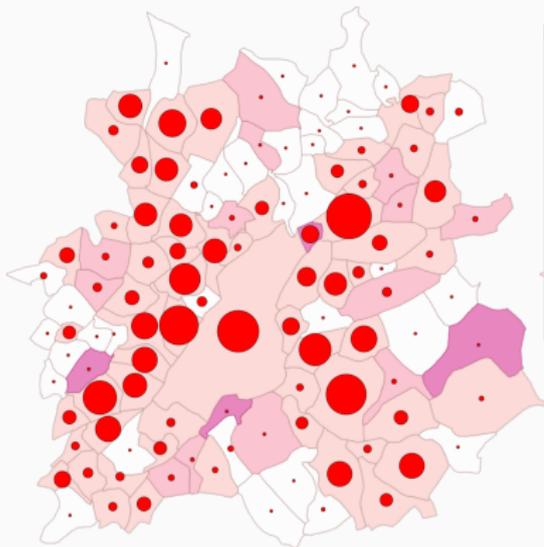
Présentation rapide des résultats des variantes

Neuf variantes de développement résidentiels

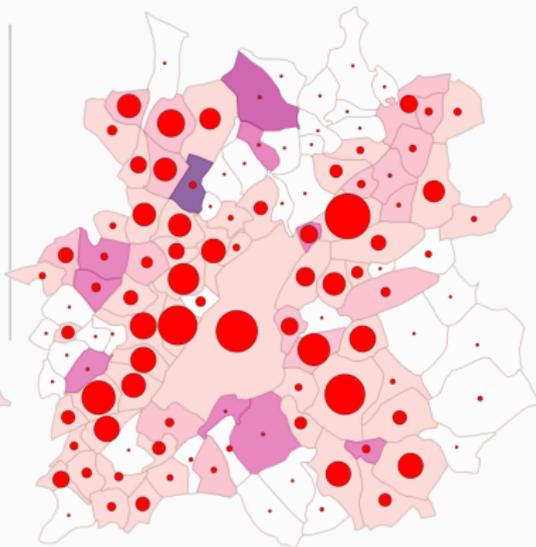
Deux réplifications de la modification des paramètres techniques :

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

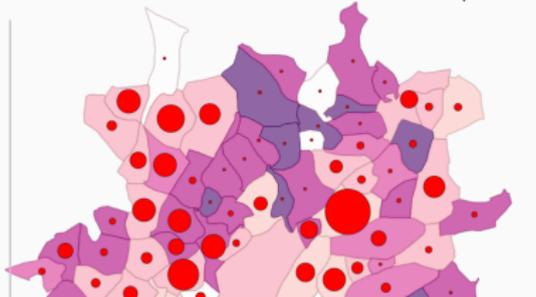
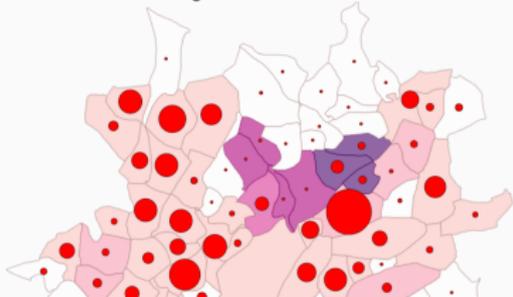
Présentation rapide des résultats des variantes



petits déplacements de la grille de décomposition
graines aléatoires



grands déplacements de la grille de décomposition
tailles des cellules du dernier niveau 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