



Laboratoire de  
Recherche en  
Architecture

Laboratoire  
Matériaux et  
Durabilité des  
Construction

# Contribution à la génération de bases de données multi-scalaires et évolutives pour une approche pluridisciplinaire de l'énergétique urbaine

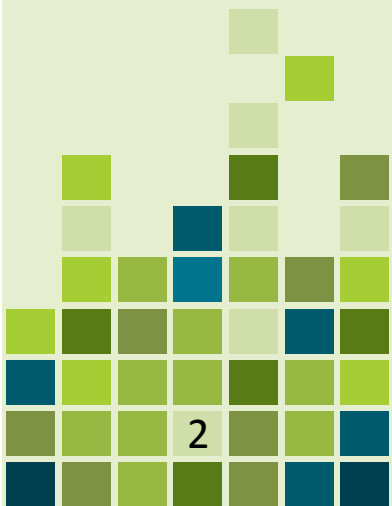


Soutenance de thèse, 11 décembre 2013

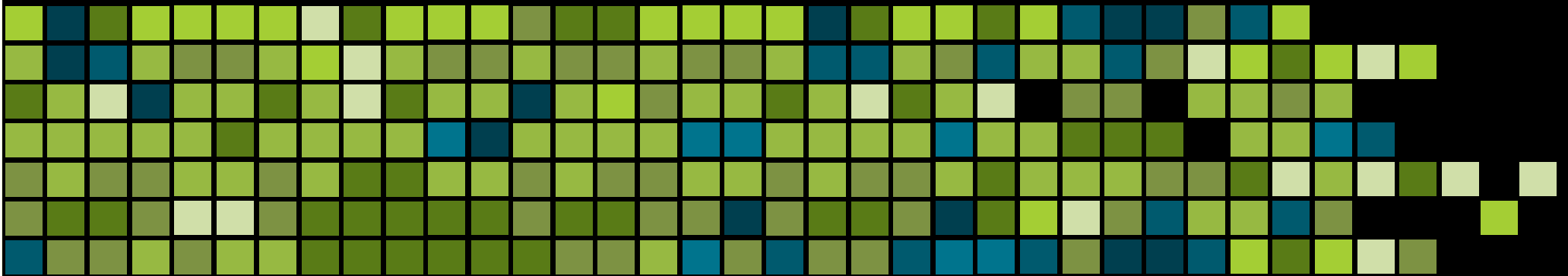
Marion BONHOMME

# Plan de la présentation

1. Problématiques et positionnement
2. Développement de GENIUS
3. Applications de GENIUS : le projet ACCLIMAT
4. Conclusion et perspectives



# 1. Problématiques et positionnement



# 1. Problématiques et positionnement

## 1.1. Ville, énergie, climat

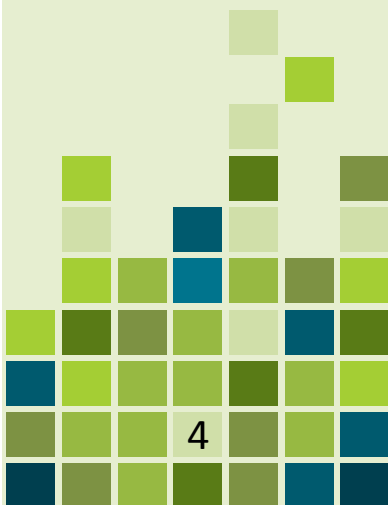
### Un contexte préoccupant

#### 1. Problématiques

#### 2. Développement de GENIUS

#### 3. Applications de GENIUS

#### 4. Conclusion et perspectives



- Les villes sont les plus grandes consommatrices d'énergie (transport, bâtiment, industries, etc.) en France.
- Parc de bâtiments résidentiels et tertiaires  
= **44** % de la consommation énergétique  
[France, 2011, Commissariat Général du Développement Durable, 2012]
- Accroissement de la part de population urbaine  
= de **75** % à **84** %  
entre 2007 et 2030 dans les pays développés  
[Projections des Nations-Unies, 2006]



# 1. Problématiques et positionnement

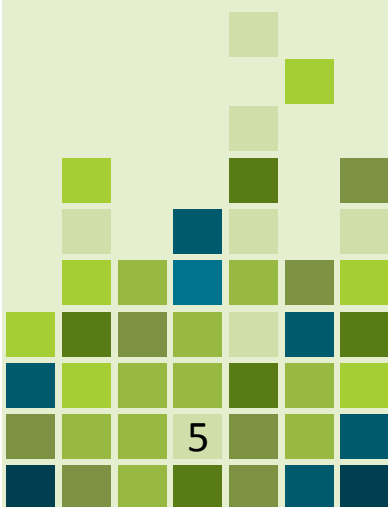
## 1.1. Ville, énergie, climat

### 1. Problématiques

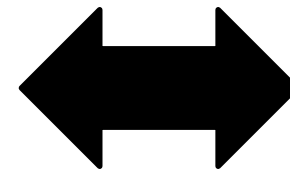
### 2. Développement de GENIUS

### 3. Applications de GENIUS

### 4. Conclusion et perspectives



Energie  
consommée dans  
la ville



Densité et  
morphologie  
urbaine

Un grand nombre d'études tendent à montrer qu'une **ville dense et un bâti compact** permettent de réduire les consommations de chauffage et de transports :

- Adolphe, 2001, 2003
- Chen, Jia, & Lau, 2008
- Hui, 2001
- Newman & Kenworthy, 1989)
- Ratti, Baker, & Steemers, 2005
- Rogers, 2000
- Steemers, Baker, Crowther, Nikolopoulou, & Clocquet, 1996
- Thomas & Cousins, 1996
- Traisnel, 2001 ...



# 1. Problématiques et positionnement

## 1.2. Energétique urbaine et densité


### Le paradoxe énergétique urbain

#### 1. Problématiques


#### 2. Développement de GENIUS

#### 3. Applications de GENIUS

#### 4. Conclusion et perspectives



Avantages d'une ville dense et d'un bâti compact



Avantages d'une ville peu dense et d'un bâti peu compact

Réduction des consommations du bâti

Réduction des consommations de transport

Augmentation du potentiel en énergies renouvelables

Réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain

# 1. Problématiques et positionnement

## 1.3. Limites des recherches actuelles

### La nécessité de la pluridisciplinarité

#### 1. Problématiques

#### 2. Développement de GENIUS

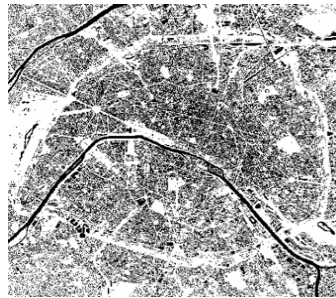
#### 3. Applications de GENIUS

#### 4. Conclusion et perspectives

L'étude de l'énergétique urbaine doit être pluridisciplinaire.

Limites des études existantes liées aux bases de données :

- Les échelles spatiales sont très différentes
- Les données nécessaires sont très variables
- Peu de lien entre ces échelles
- Des échelles temporelles très différentes



Ville

Quartier

Ilot urbain

Bâtiment

Pièce

# 1. Problématiques et positionnement

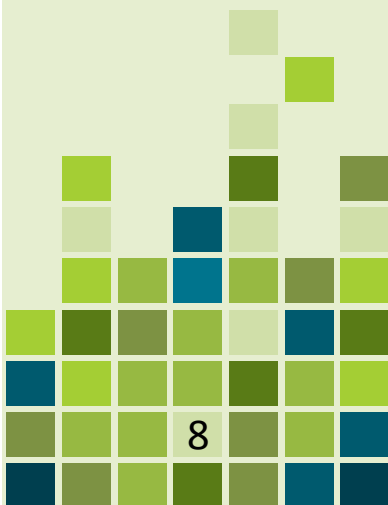
## 1.4. Positionnement

### 1. Problématiques

### 2. Développement de GENIUS

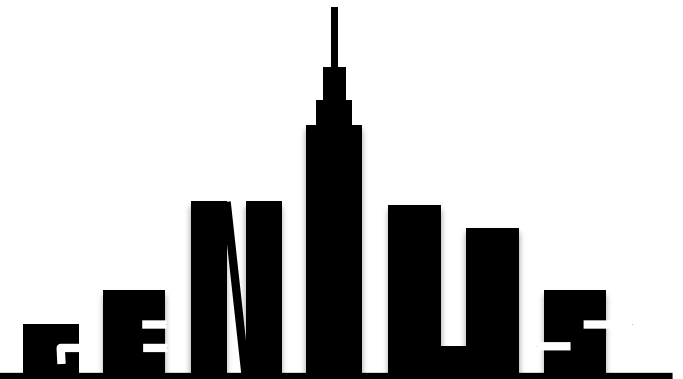
### 3. Applications de GENIUS

### 4. Conclusion et perspectives



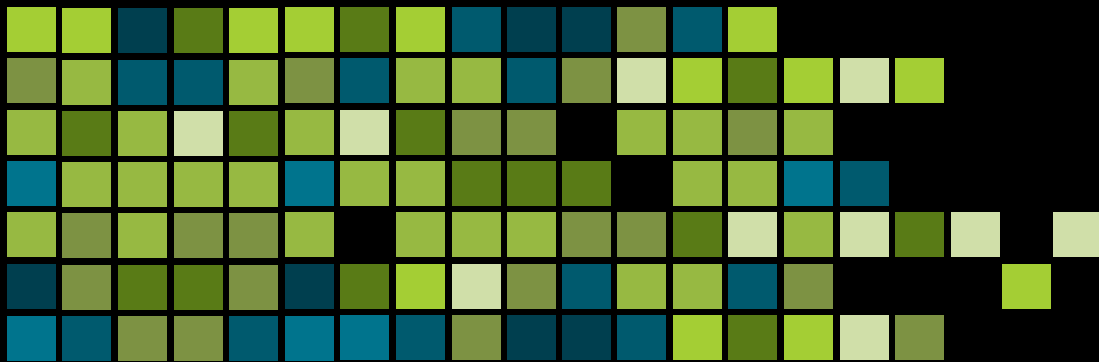
- Mise au point d'un outil pour créer des bases de données pluridisciplinaires, multi-scalaires et évolutives

### GENérateur d'Ilots Urbains



- Recommandations à destination des planificateurs et décideurs urbains basées sur des projets de recherche pluridisciplinaires

## 2. Développement de GENIUS



# 2. Développement de GENIUS

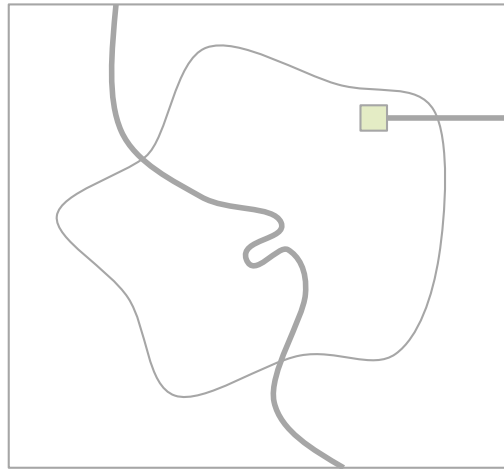
## 2.1. Objectifs

### 1. Problématiques

### 2. Développement de GENIUS

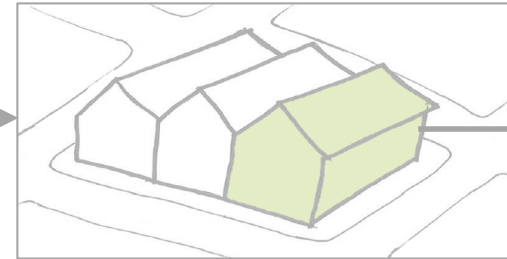
### 3. Applications de GENIUS

### 4. Conclusion et perspectives



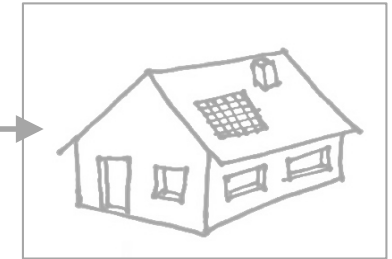
#### Ville

- Surfaces urbanisées, végétalisées, en eau,
- Structure
- Réseaux ...



#### Quartier

- Type
- Densité bâtie
- Densité humaine
- CES
- Hauteur
- Végétation
- Espace public ...



#### Bâtiment

- Usage
- Matérialité
- Equipements
- Pente de toiture
- Ratio de vitrage
- Age ...

Données géolocalisées

Evolutions via un modèle prospectif urbain existant

Évolutions architecturales via GENIUS

# 2. Développement de GENIUS

## 2.2. GENIUS synchronique

### Principe général

1. Problématiques

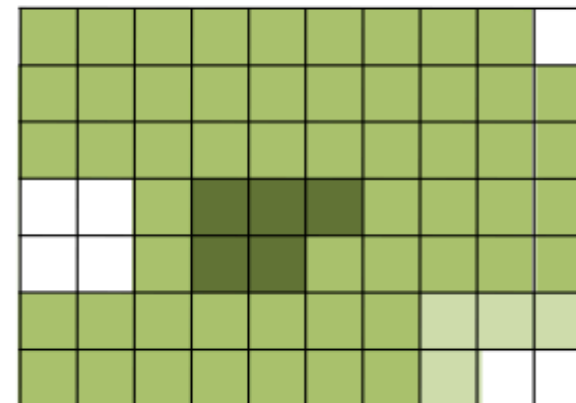
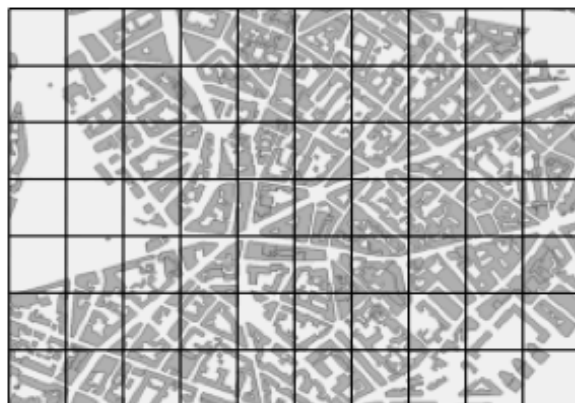
2. Développement de GENIUS

3. Applications de GENIUS

4. Conclusion et perspectives





### Première étape :

Génération d'une carte archétypale initiale



Base de données urbaines nationales :  
IGN + INSEE

Chaque maille est caractérisée par :

- un type de quartier    
- 51 paramètres

# 2. Développement de GENIUS

## 2.2. GENIUS synchronique

Mise au point d'une typologie

1. Problématiques

**2. Développement de GENIUS**

3. Applications de GENIUS

4. Conclusion et perspectives

Pavillon discontinu



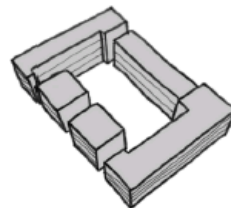
Pavillon continu



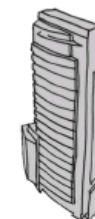
Immeuble discontinu



Immeuble continu



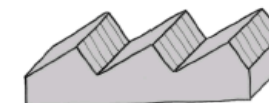
Immeuble de grande hauteur



Centre ancien



Bâtiment d'activités





# 2. Développement de GENIUS

## 2.2. GENIUS synchronique

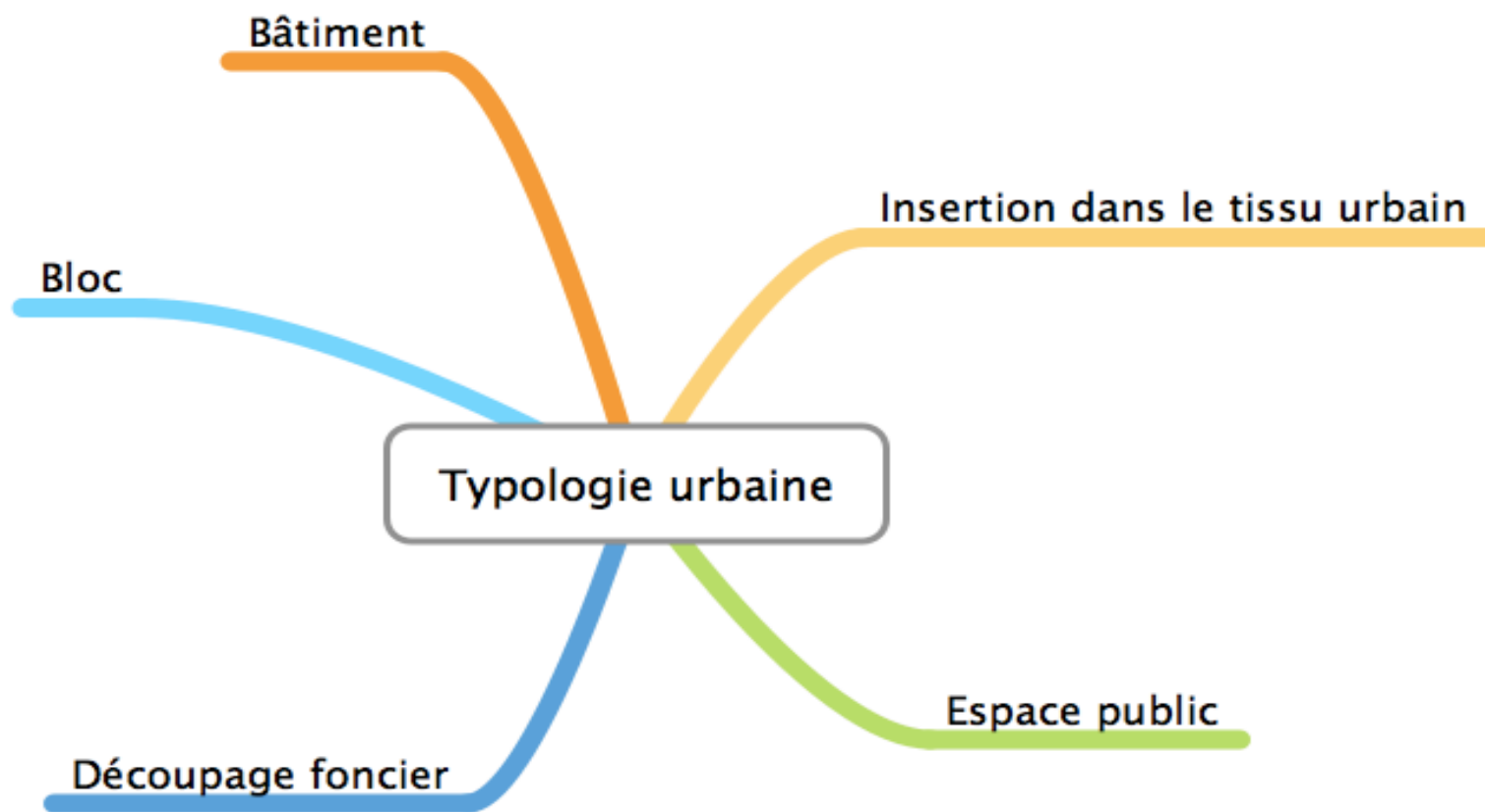
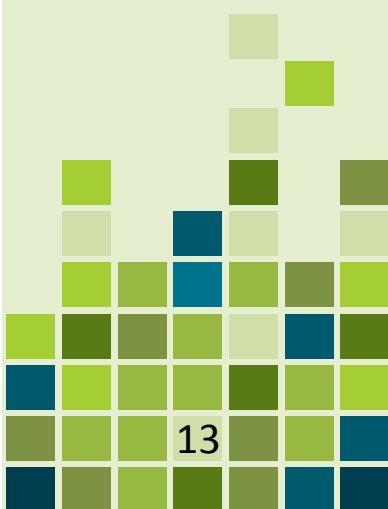
Choix d'indicateurs pour caractériser chaque maille

1. Problématiques

2. Développement de GENIUS

3. Applications de GENIUS

4. Conclusion et perspectives



# 2. Développement de GENIUS

## 2.2. GENIUS synchronique

### Classification

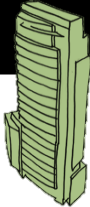


1. Problématiques

2. Développement de GENIUS

3. Applications de GENIUS

4. Conclusion et perspectives

- Certains quartiers sont préidentifiés :

	Type de quartier	Conditions
	Immeuble de grande hauteur	Hauteur moyenne > 30 m
	Bâtiment d'activités	CES indus/CES > 0,6
	Non bâti	CES < 0,05

- Pour les autres :

Une analyse en composantes principales couplée à l'observation de la densité bâtie brute est privilégiée parmi les méthodes de classification.

# 2. Développement de GENIUS

## 2.2. GENIUS synchronique

### Analyse en composantes principales

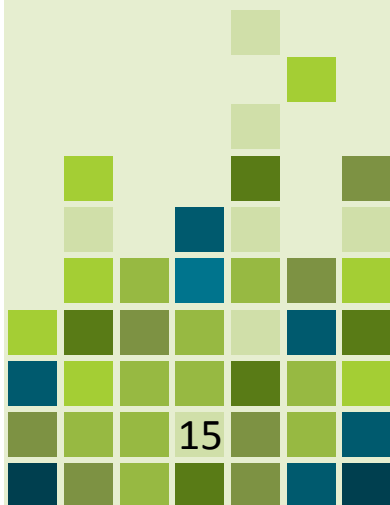
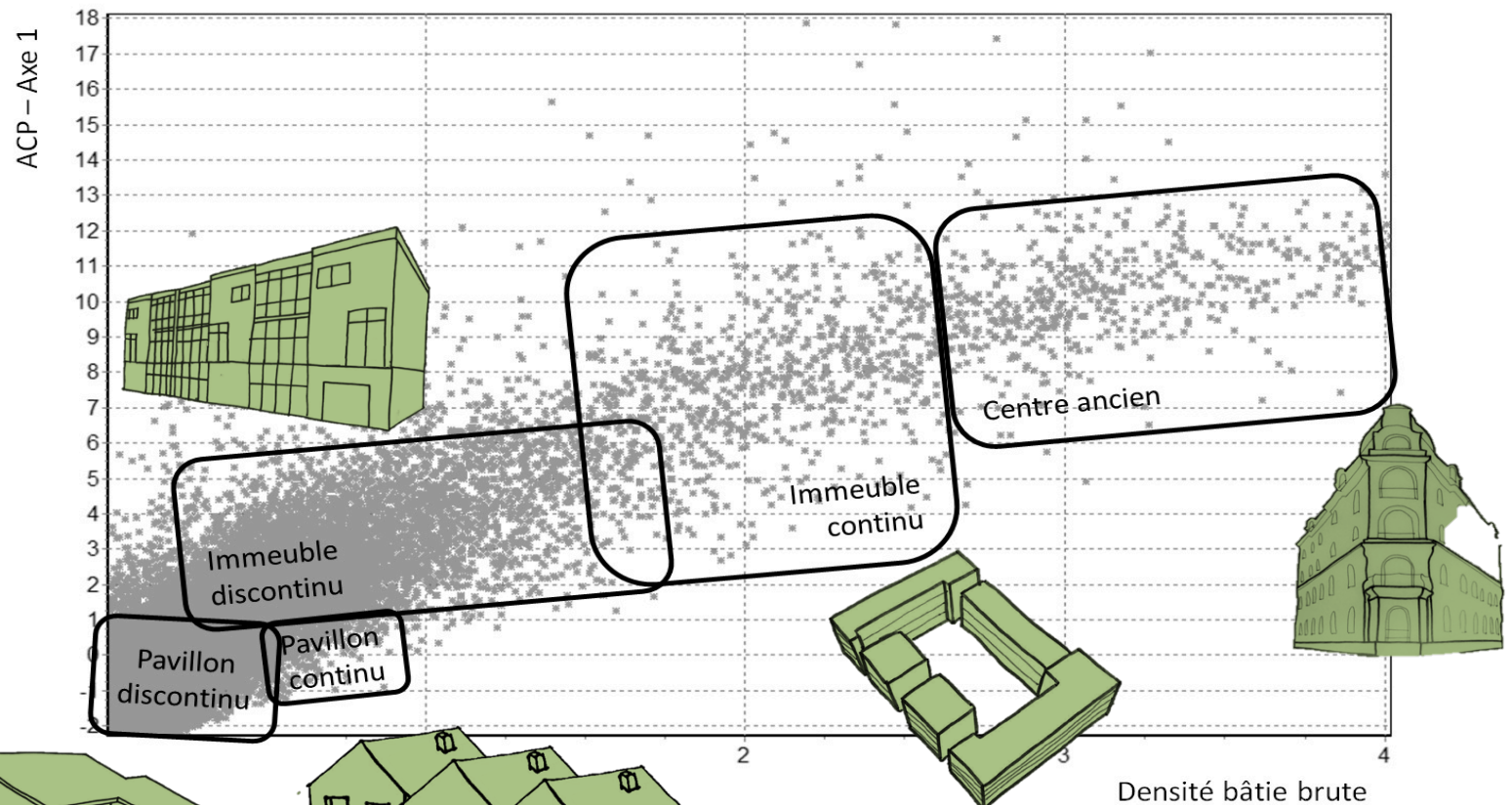
Exemple pour Paris :

1. Problématiques

2. Développement de GENIUS

3. Applications de GENIUS

4. Conclusion et perspectives



# 2. Développement de GENIUS

## 2.2. GENIUS synchronique

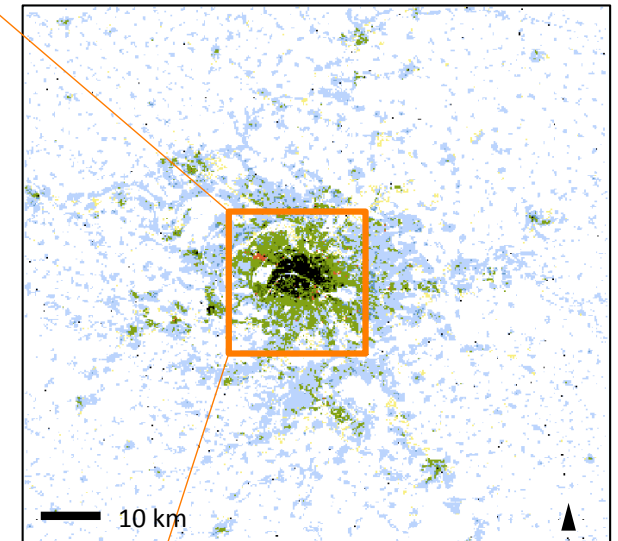
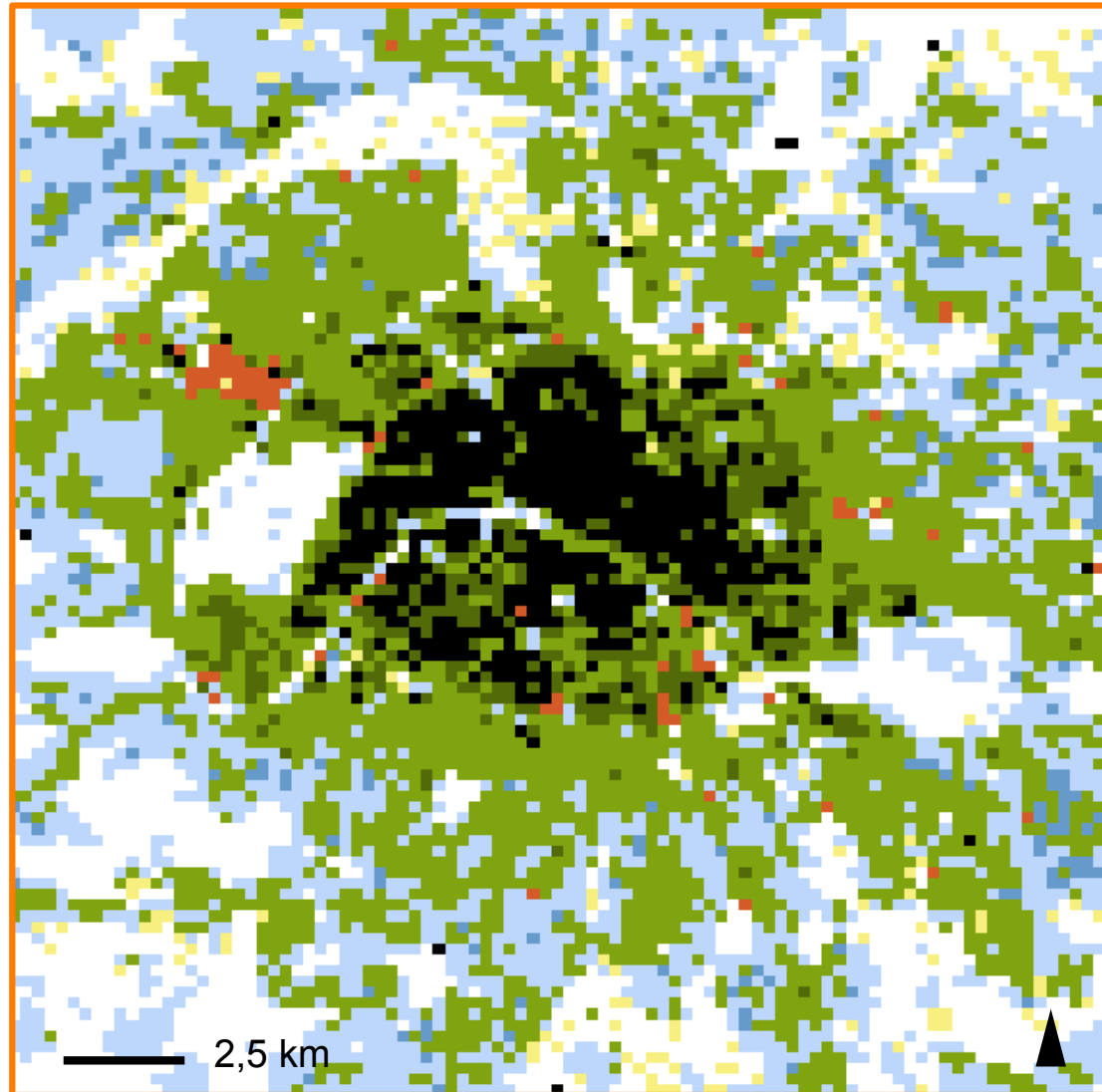
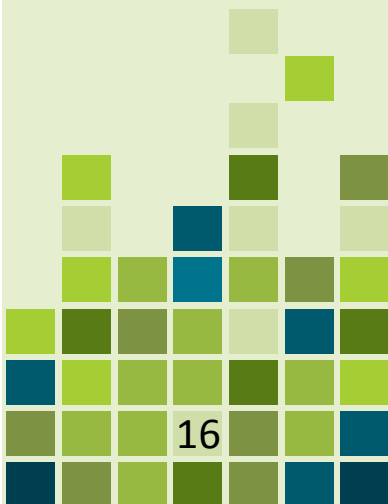
### Résultats pour Paris

1. Problématiques

2. Développement de GENIUS

3. Applications de GENIUS

4. Conclusion et perspectives



Types de quartiers :

Pavillonnaire discontinu	Light blue
Pavillonnaire continu	Blue
Immeuble discontinu	Light green
Immeuble continu	Dark green
Immeuble de grande hauteur	Red
Centre ancien	Black
Bâtiment d'activité	Yellow

# 2. Développement de GENIUS

## 2.2. GENIUS synchronique

### Validation

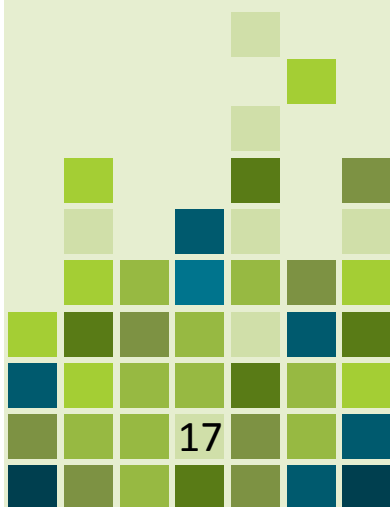
Validation grâce au MOS, la base de données de l'IAU IDF :

1. Problématiques

2. Développement de GENIUS

3. Applications de GENIUS

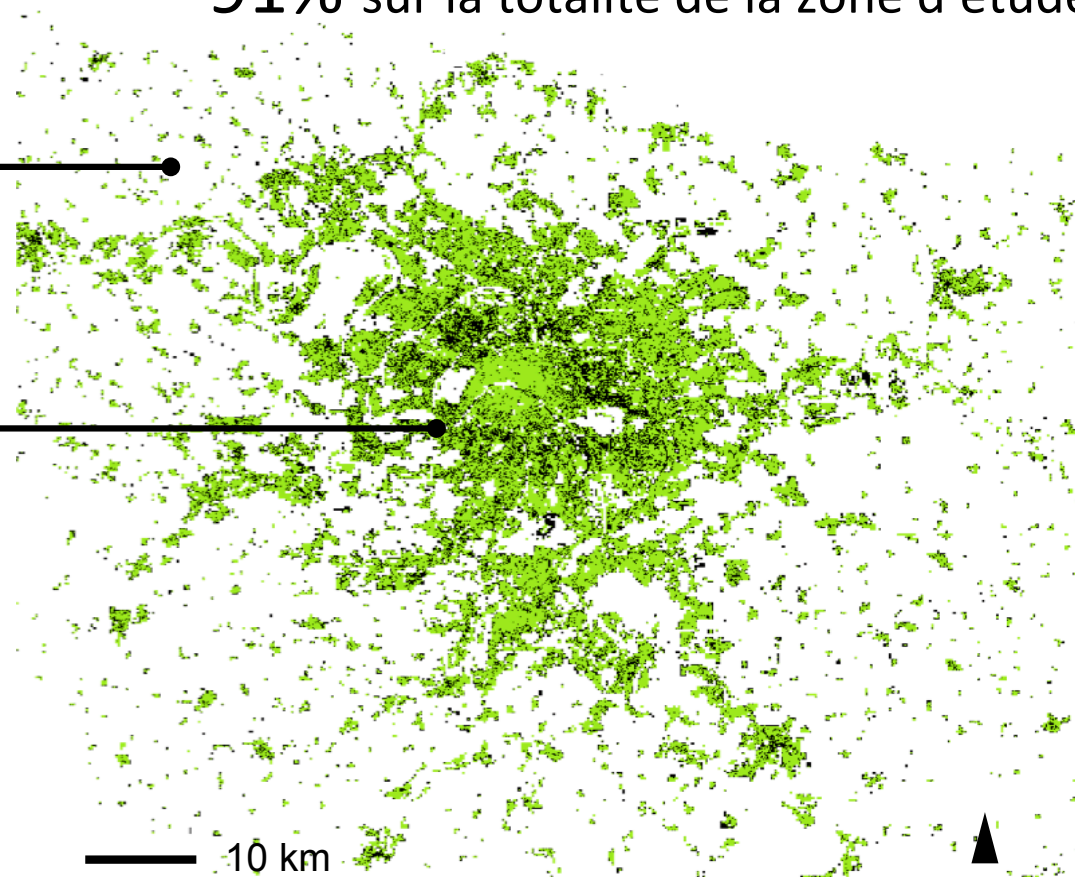
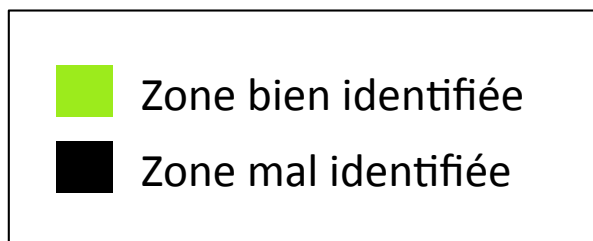
4. Conclusion et perspectives



91% sur la totalité de la zone d'étude

97 % sur le non bâti

71% sur le bâti



# 2. Développement de GENIUS

## 2.3. GENIUS diachronique

### Principe général

1. Problématiques

2. Développement de GENIUS

3. Applications de GENIUS

4. Conclusion et perspectives

Mécanismes gouvernant l'expansion urbaine :



- Économie
- Démographie et modes de vie
- Politiques urbaines
- Typologie des tissus urbains

Mécanismes pris en compte dans les modèles dynamiques d'expansion urbaine

Mécanismes pris en compte dans aucun des modèles existants



# 2. Développement de GENIUS

## 2.3. GENIUS diachronique

### Couplage avec un modèle prospectif d'expansion urbaine

1. Problématiques

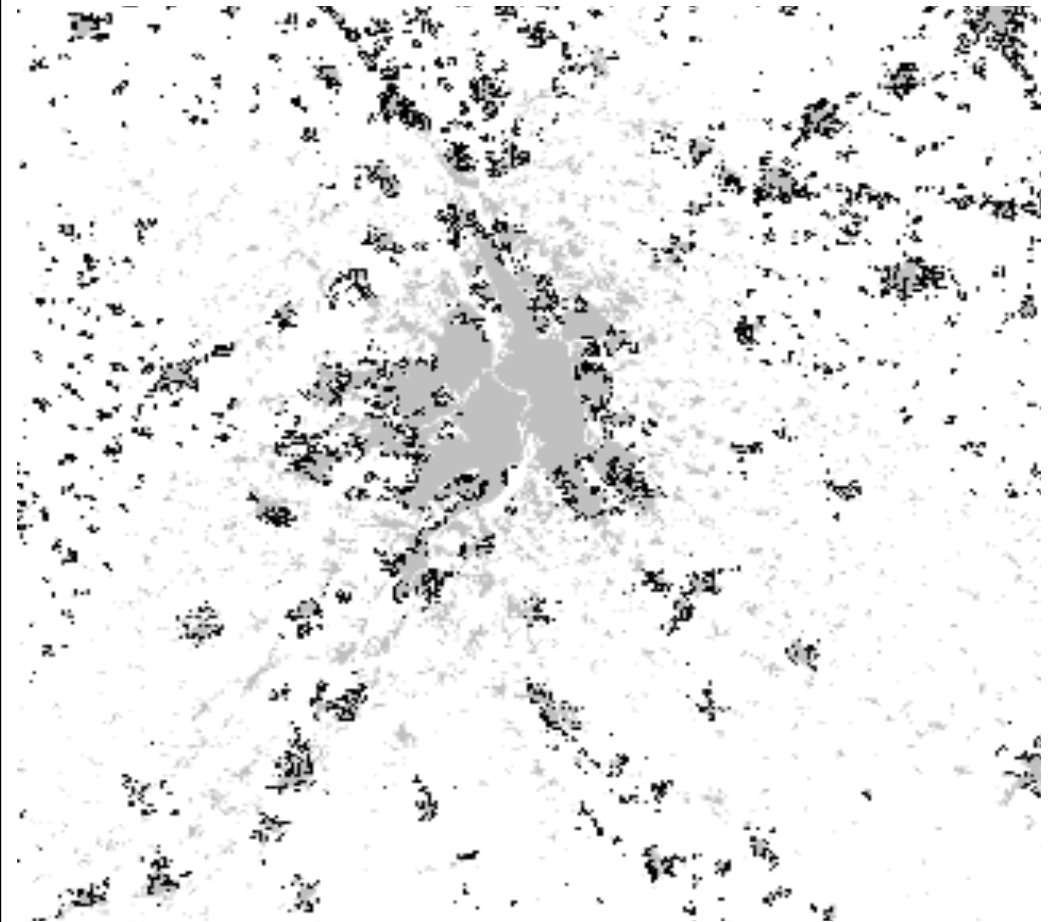
2. Développement de GENIUS

3. Applications de GENIUS

4. Conclusion et perspectives

### SLEDUM

- Modèle économique dynamique de localisation des ménages.
- Couplé à un modèle géographique d'occupation du sol.



*Extension multipolaire de Toulouse entre 2010 (en gris) et 2100 (en noir)*

# 2. Développement de GENIUS

## 2.3. GENIUS diachronique

### Règles d'évolution typologique

#### 1. Problématiques

#### 2. Développement de GENIUS

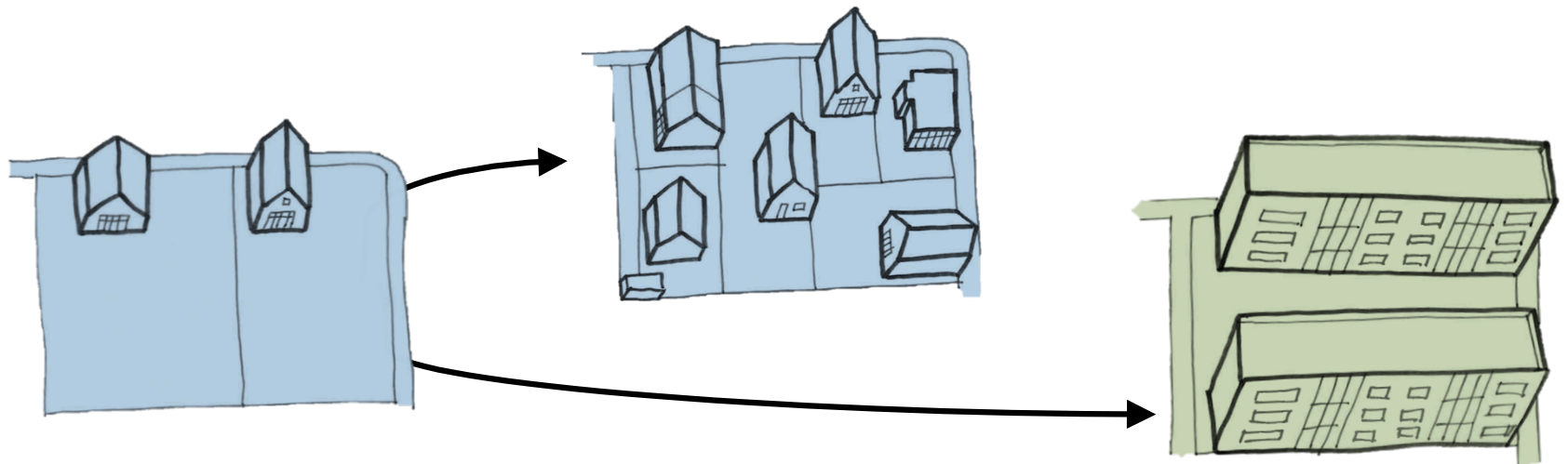
#### 3. Applications de GENIUS

#### 4. Conclusion et perspectives

La ville garde une trace de son histoire. Ainsi, il est très probable que la forme future d'un quartier dépende de sa forme passée.

Règles issues de l'observation des évolutions passées :

- Si la densité bâtie ne dépasse pas un certain niveau : le type de quartier reste identique
- Au-delà, et s'il existe depuis plus de 50 ans, le type de quartier change : on détruit pour reconstruire plus dense





# 2. Développement de GENIUS

## 2.3. GENIUS diachronique

### Règles d'évolutions morphologiques

1. Problématiques

2. Développement de GENIUS

3. Applications de GENIUS

4. Conclusion et perspectives

Pour réaliser les bilans énergétiques de la ville et des bâtiments, il est nécessaire de faire évoluer un certain nombre de paramètres :

■ Descripteurs des bâtiments :

- Surface de plancher
- Hauteur
- Coefficient d'emprise au sol
- Surface d'enveloppe déperditive ...

Issue de SLEDUM

■ Descripteurs de l'environnement urbain :

- Surface de route
- Surface de végétation ...

Issues d'analyses statistiques de l'existant et de calculs simplifiés

# 2. Développement de GENIUS

## 2.3. GENIUS diachronique

### Règles d'évolutions morphologiques

1. Problématiques

2. Développement de GENIUS

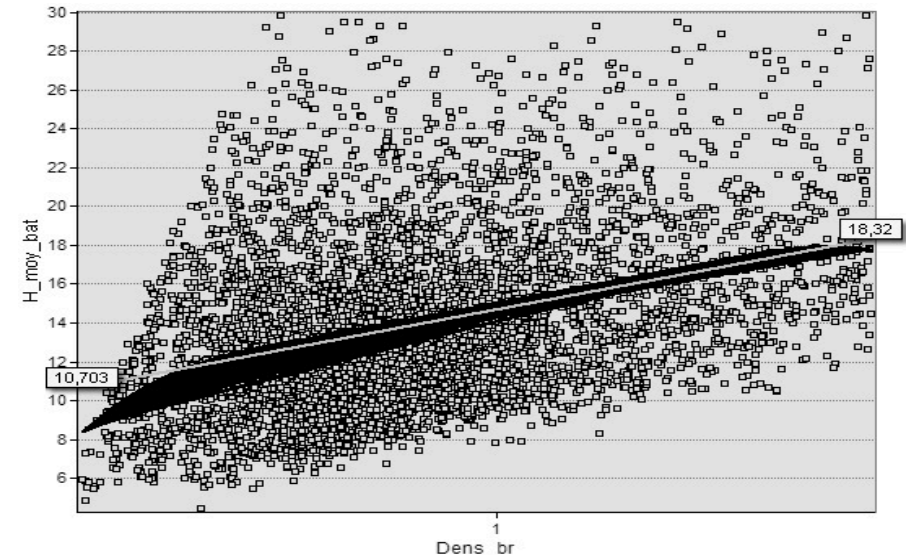
3. Applications de GENIUS

4. Conclusion et perspectives

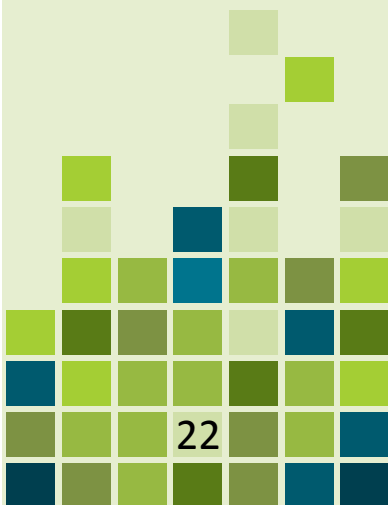
Analyse de chaque type :

On établit une loi qui détermine la hauteur en fonction de la variation de densité pour chaque type.

$$H_{n+1} = a \times \Delta_{\text{Densité bâtie}} + H_n$$



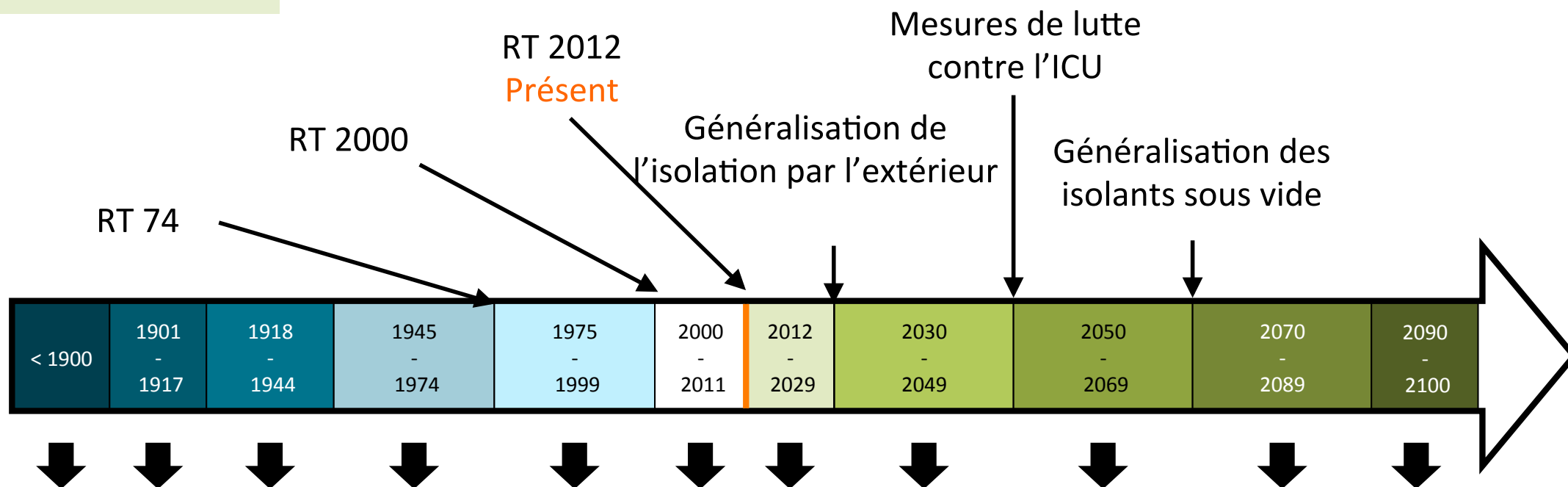
Type	a	b
Pavillonnaire discontinu	5,6	6
Pavillonnaire continu	8,5	4,4
Immeuble discontinu	0	18,4
Immeuble continu	4,5	10,2
Immeuble de grande hauteur	0	-
Centre ancien	1,8	14,1
Bâtiment d'activité	0	-



## 2. Développement de GENIUS

### 2.3. GENIUS diachronique

#### Caractéristiques techniques des bâtiments



Attribution des caractéristiques techniques en fonction :

- de la période de construction,
- du type de quartier,
- de l'usage.

# 2. Développement de GENIUS

## 2.3. GENIUS diachronique

### Consultation d'experts et scénarios prospectifs

1. Problématiques

2. Développement de GENIUS

3. Applications de GENIUS

4. Conclusion et perspectives



Mise au point de :

- 4 scénarios technologiques
- 3 scénarios d'aménagement du territoire

# 2. Développement de GENIUS

## 2.3. GENIUS diachronique

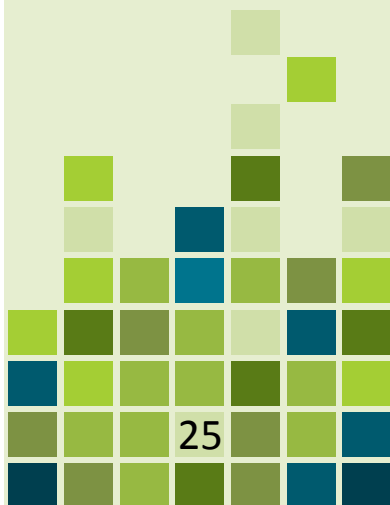
### Validation

1. Problématiques

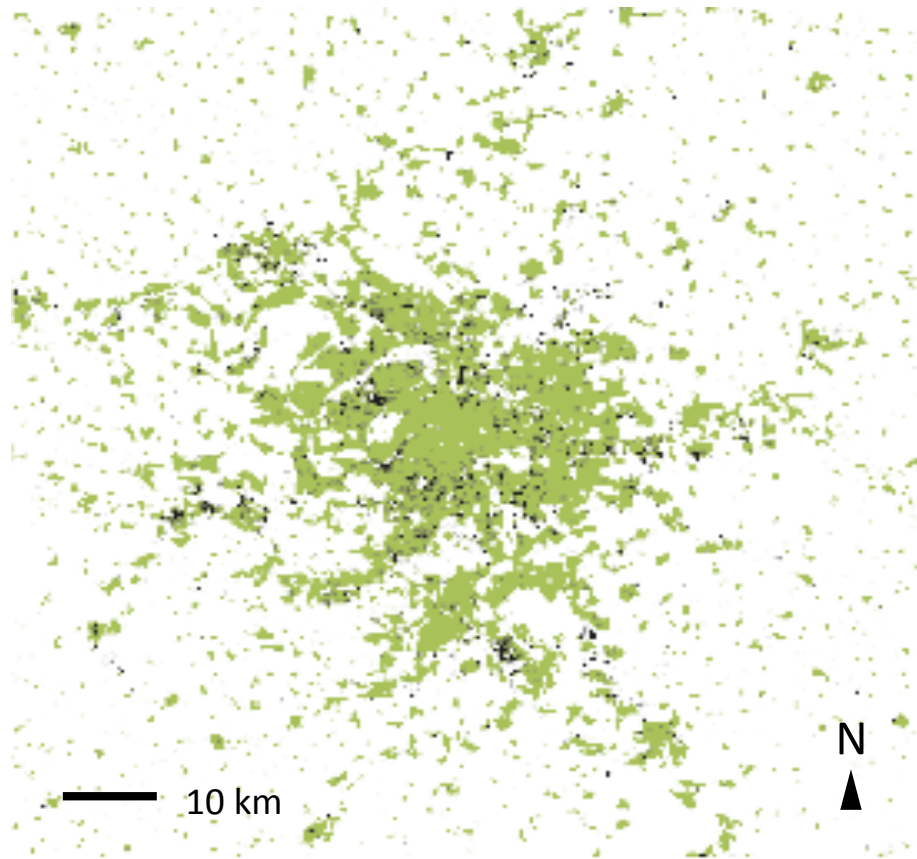
2. Développement de GENIUS

3. Applications de GENIUS

4. Conclusion et perspectives



Validation sur les évolutions passées entre 1962 et 2008 grâce aux données de l'INSEE et de l'IAU IdF :



93 % du bâti construit par GENIUS entre 1962 et 2008

■ Zone bien identifiée  
■ Zone mal identifiée

# 2. Développement de GENIUS

## 2.4. Discussion

### Limites du modèle

#### 1. Problématiques

#### 2. Développement de GENIUS

#### 3. Applications de GENIUS

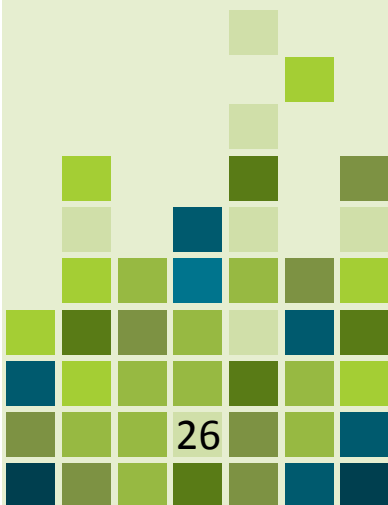
#### 4. Conclusion et perspectives

### GENIUS synchronique :

- La typologie peut être améliorée.
- La méthode de classification peut être améliorée.
- La prise en compte de la rénovation thermique n'est pas réaliste.
- La méthode n'est pas automatisée.

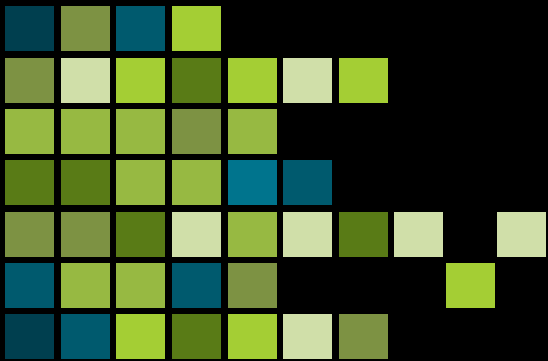
### GENIUS diachronique :

- Évolution limitée des bâtiments de bureaux et d'activités.
- Validation de l'évolution morphologique.





# 3. Applications de GENIUS : le projet ACCLIMAT



# 3. Applications de GENIUS : le projet ACCLIMAT

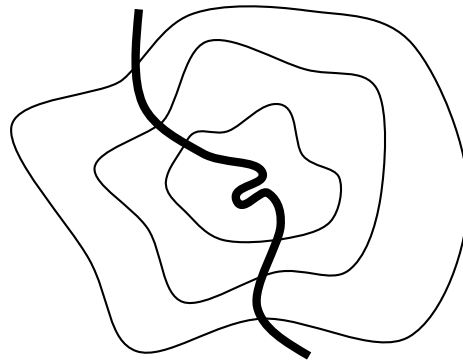
## 3.1. Le projet ACCLIMAT

1. Problématiques

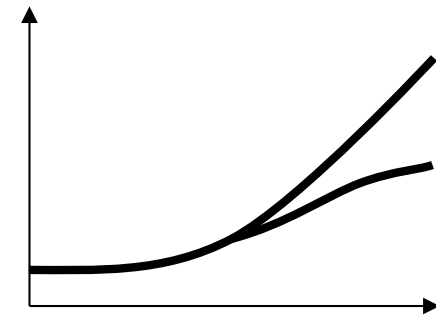
2. Développement de GENIUS

3. Applications de GENIUS

4. Conclusion et perspectives



Expansion urbaine



Changement climatique



**Comment adapter la ville à ces deux évolutions?**

Objectif : développer un outil pour les décideurs urbains afin d'identifier des leviers d'action et d'évaluer leurs impacts.





# 3. Applications de GENIUS : le projet ACCLIMAT

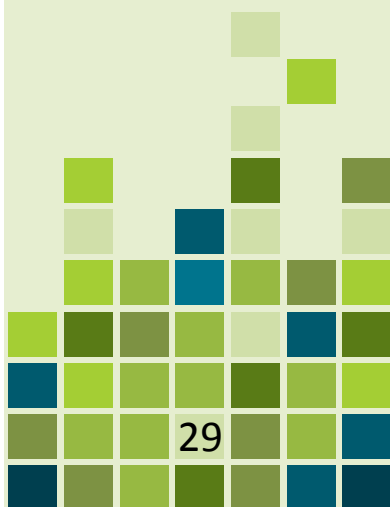
## 3.1. Le projet ACCLIMAT

1. Problématiques

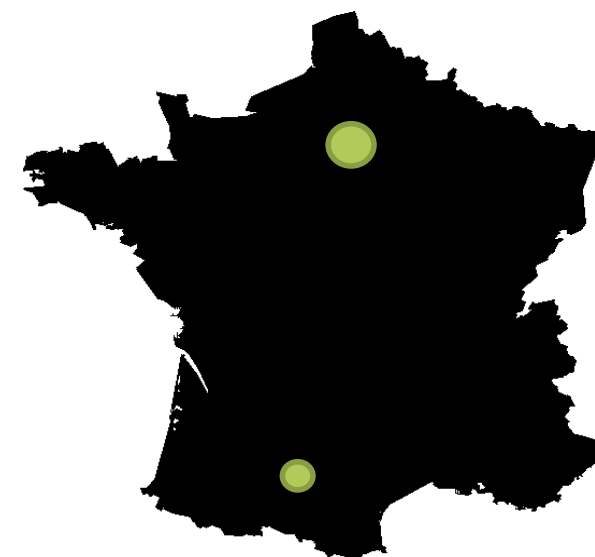
2. Développement  
de GENIUS

3. Applications  
de GENIUS

4. Conclusion et  
perspectives



- Echelle spatiale :  
Territoire de 84 km x 94 km  
autour de **Toulouse**  
(Projet MUSCADE = autour de **Paris**)



- Echelle temporelle :



# 3. Applications de GENIUS : le projet ACCLIMAT

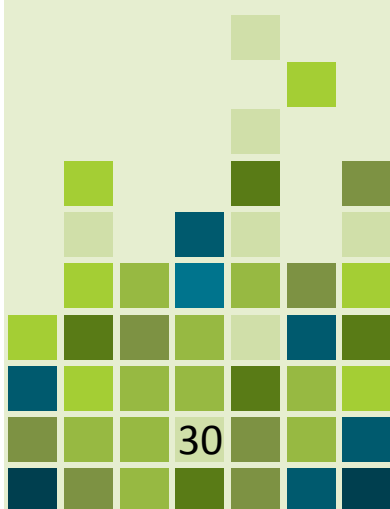
## 3.1. Le projet ACCLIMAT

1. Problématiques

2. Développement de GENIUS

3. Applications de GENIUS

4. Conclusion et perspectives



Bâtiment

Quartier

Ville

Scénarios prospectifs

Modèles prospectifs

Simulation et Evaluation du microclimat urbain, des consommations énergétiques des bâtiments, de la production d'énergies renouvelables, des distances de déplacements, de la qualité urbaine et architecturale, ...

# 3. Applications de GENIUS : le projet ACCLIMAT

## 3.1. Le projet ACCLIMAT

1. Problématiques

2. Développement de GENIUS

3. Applications de GENIUS

4. Conclusion et perspectives

Bâtiment

Quartier

Ville

Scénarios prospectifs

Modèles prospectifs

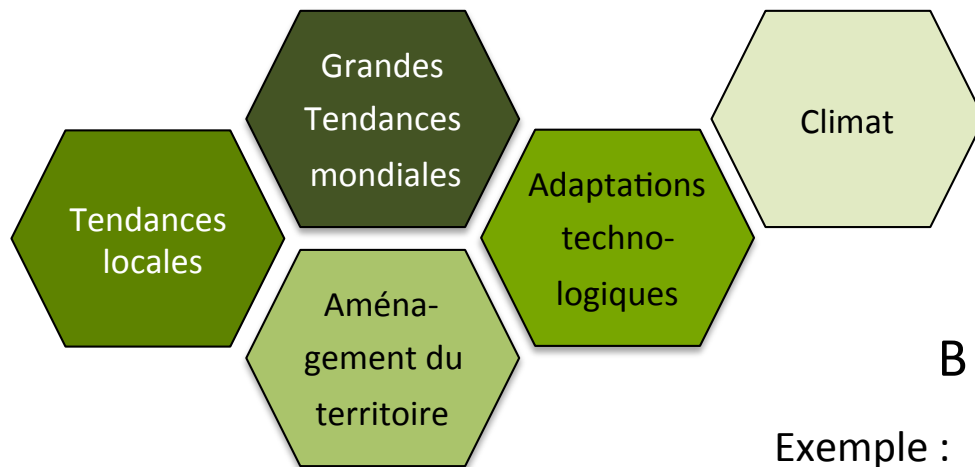
Simulation et Evaluation du microclimat urbain, des consommations énergétiques des bâtiments, de la production d'énergies renouvelables, des distances de déplacements, de la qualité urbaine et architecturale, ...

# 3. Applications de GENIUS : le projet ACCLIMAT

## 3.1. Le projet ACCLIMAT

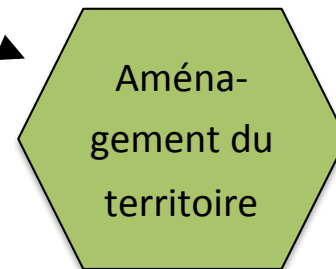
### Les scénarios prospectifs

#### A – Définition de 5 grands thèmes



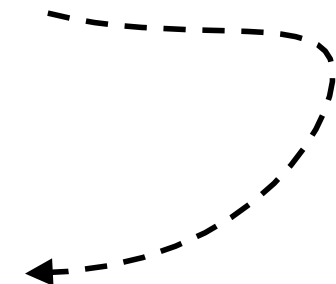
#### B – Définition de variables pour chaque thème

Exemple :



- Type d'expansion de la ville
- Type de quartier
- Forme architecturale
- Végétalisation

#### C – Construction de 7 scénarios systémiques par croisement



# 3. Applications de GENIUS : le projet ACCLIMAT

## 3.1. Le projet ACCLIMAT

1. Problématiques

2. Développement de GENIUS

3. Applications de GENIUS

4. Conclusion et perspectives

Bâtiment

Quartier

Ville

Scénarios prospectifs

Modèles prospectifs

Simulation et Evaluation du microclimat urbain, des consommations énergétiques des bâtiments, de la production d'énergies renouvelables, des distances de déplacements, de la qualité urbaine et architecturale, ...

# 3. Applications de GENIUS : le projet ACCLIMAT

## 3.1. Le projet ACCLIMAT

1. Problématiques

2. Développement de GENIUS

3. Applications de GENIUS

4. Conclusion et perspectives

Bâtiment

Quartier

Ville

Scénarios prospectifs

Modèles prospectifs

**Simulation et Évaluation** du microclimat urbain, des consommations énergétiques des bâtiments, de la production d'énergies renouvelables, des distances de déplacements, de la qualité urbaine et architecturale...

# 3. Applications de GENIUS : le projet ACCLIMAT

## 3.1. Le projet ACCLIMAT

### Le principal modèle d'évaluation : TEB

1. Problématiques

2. Développement  
de GENIUS

3. Applications  
de GENIUS

4. Conclusion et  
perspectives

### TEB, développé au CNRM

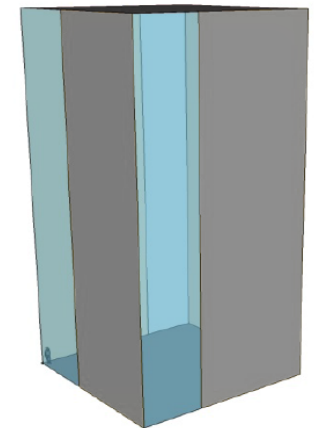
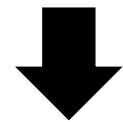
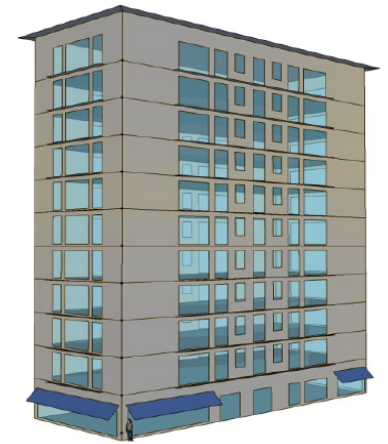
Modèle de canopée urbaine représentée par un réseau de rue canyon

Entrées :

- climat
- morphologie simplifiée
- propriétés thermiques des matériaux

Sorties :

- microclimat
- consommations de chauffage et climatisation



# 3. Applications de GENIUS : le projet ACCLIMAT

## 3.2. Résultats de la modélisation GENIUS

■	Maisons individuelles
■	Maisons individuelles accolées
■	Immeubles discontinus
■	Immeubles continus
■	Centre ancien dense
■	Immeubles de grande hauteur
■	Bâtiments d'activité

### Scénarios à forte croissance démographique

#### Ville dynamique :

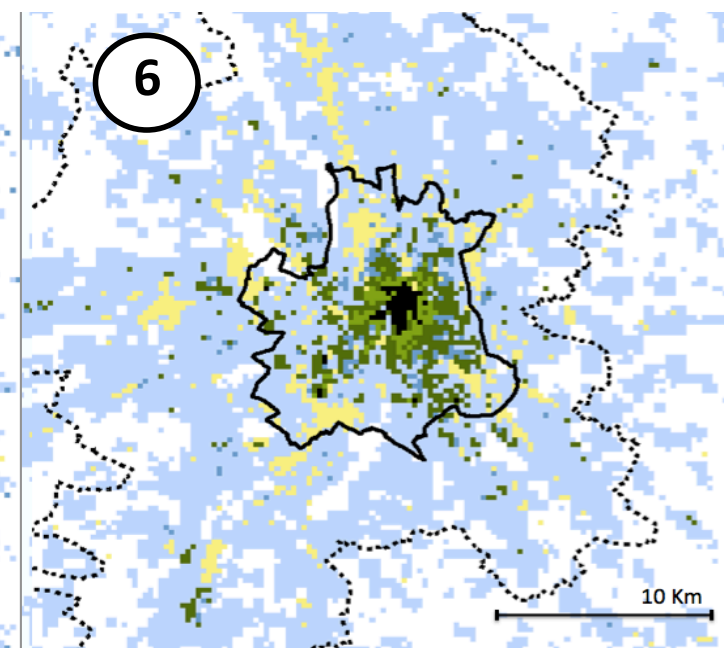
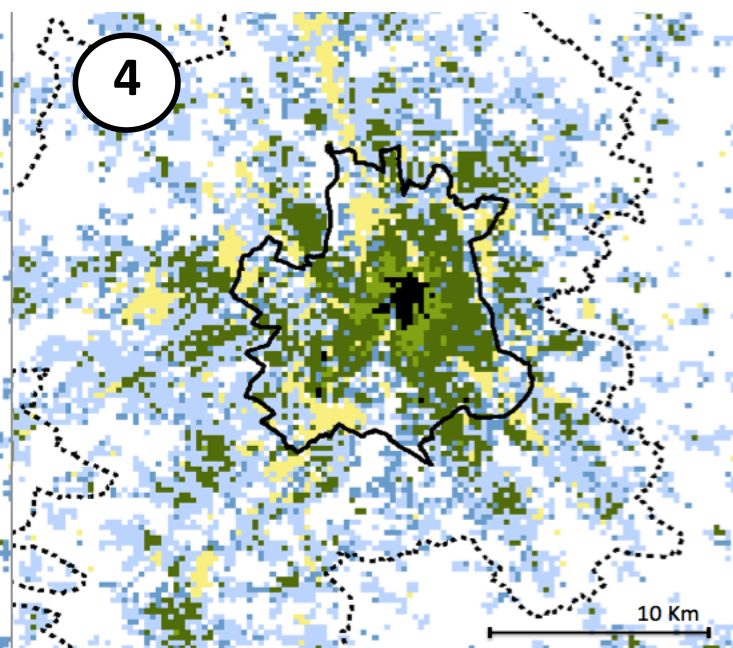
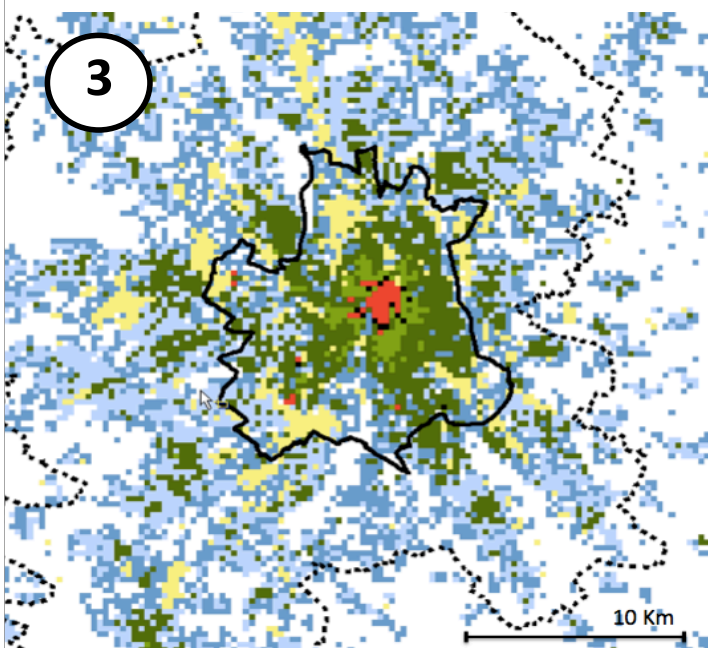
- Expansion urbaine contrôlée par une ceinture verte
- Architecture verticale favorisée

#### Ville verte :

- Expansion urbaine multipolaire
- Architecture compacte favorisée
- Végétalisation intensive

#### Ville passive :

- Pas de contrôle de l'expansion urbaine
- Pas de contrôle de la forme architecturale





# 3. Applications de GENIUS : le projet ACCLIMAT

## 3.2. Résultats de la modélisation GENIUS

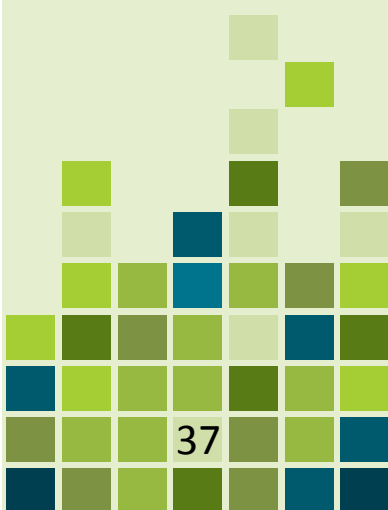
### Évolution morphologique

1. Problématiques

2. Développement de GENIUS

3. Applications de GENIUS

4. Conclusion et perspectives



Scénario	Surface urbanisée (milliers d'hectares)	Densité de végétation sur le pôle urbain	Densité bâtie sur le pôle urbain	CES	Hauteur
Existant 2010	75	0,9	0,32	0,13	6,1
3 – Ville dynamique	120	0,5 ↓	0,30	0,07 ↓	11,2 ↗↗
4 – Ville verte	105	0,7	0,30	0,09	6,2
6 – Ville passive	144 ↗↗	0,5 ↓	0,24 ↓	0,09	5,8 ↓

# 3. Applications de GENIUS : le projet ACCLIMAT

## 3.2. Résultats de la modélisation GENIUS

à retenir ...

1. Problématiques

2. Développement  
de GENIUS

3. Applications  
de GENIUS

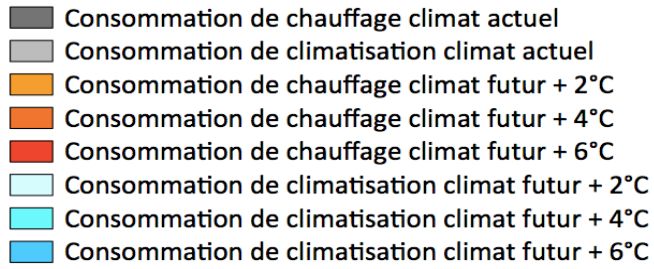
4. Conclusion et  
perspectives

- Importance d'anticiper les politiques urbaines.
- Possibilité de concilier densité et végétation et importance de mettre en place des politiques de végétalisation spécifique.
- Efficacité d'une expansion urbaine multipolaire par rapport à un dispositif de « ceinture verte ».
- Des changements des modes de conception et de construction majeurs qui peuvent être induits :
  - Par la réglementation urbaine
  - Par la réglementation thermique
  - Par la formation des concepteurs
  - Par les outils de conception/modélisation

# 3. Applications de GENIUS : le projet ACCLIMAT

## 3.3. Résultats de la plateforme

### Consommations de chauffage et de climatisation

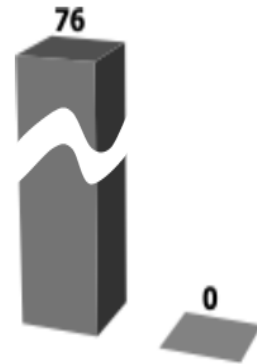
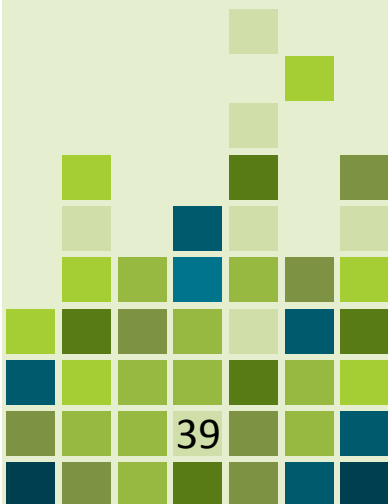


1. Problématiques

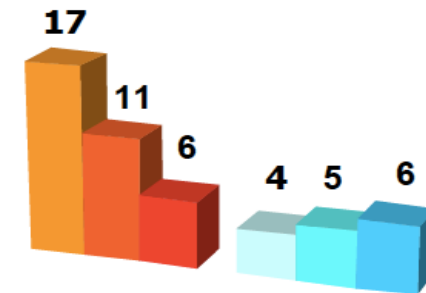
2. Développement de GENIUS

3. Applications de GENIUS

4. Conclusion et perspectives

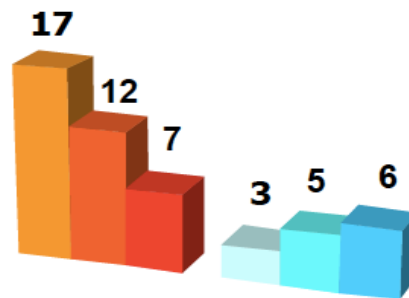


Ville actuelle



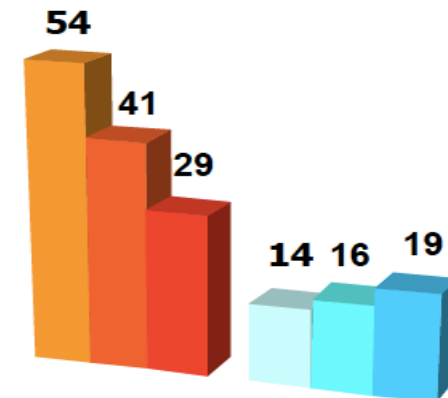
3 Ville dynamique

Ville verte 4













(Consommations en kWh/m<sup>2</sup>/an)

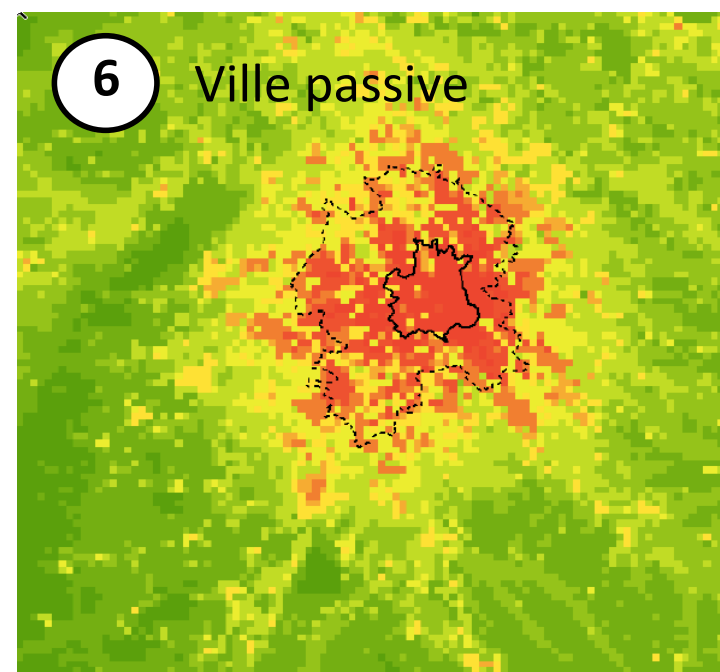
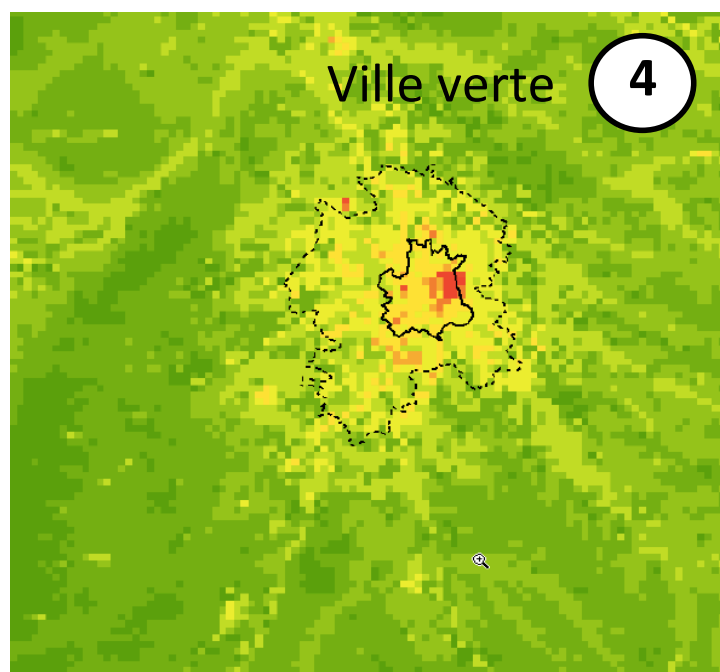
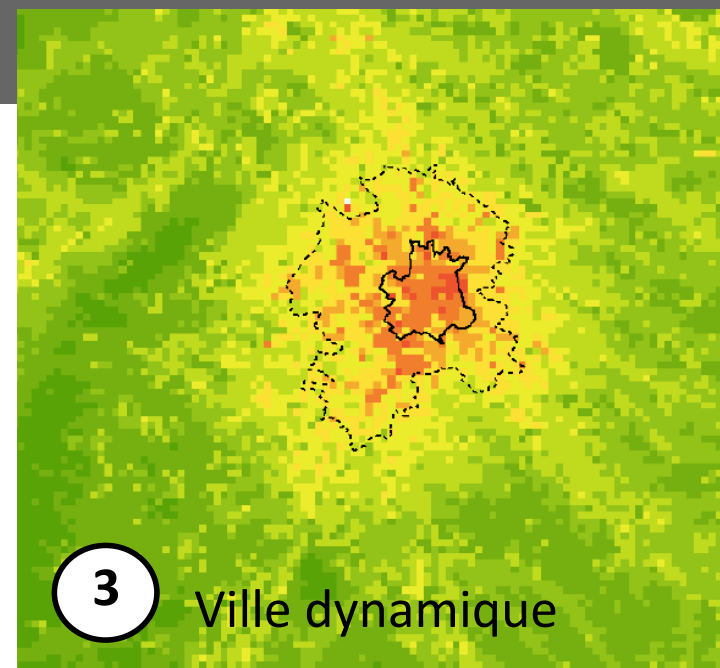
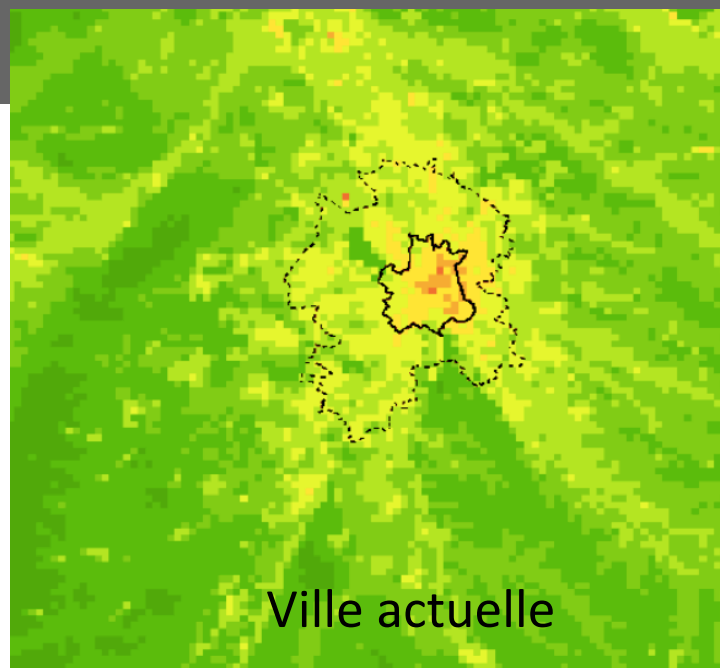
6 Ville passive



# 3. Applications de GENIUS : le projet ACCLIMAT

Ilot de chaleur  
urbain estival  
nocturne max. (°C)

< -0,5	
-0,5 à 0	
0 à 0,25	
0,25 à 0,75	
0,75 à 1,25	
1,25 à 1,75	
1,75 à 2	
2 à 2,5	
2,5 à 3	
> 3	



# 3. Applications de GENIUS : le projet ACCLIMAT

## 3.3. Résultats de la plateforme

à retenir ...

1. Problématiques

2. Développement  
de GENIUS

3. Applications  
de GENIUS

4. Conclusion et  
perspectives

- Impact du changement climatique et de l'ICU sur les consommations globales et donc sur le système de production énergétique.
- Intérêt de végétaliser, isoler, augmenter l'albédo, contrôler l'expansion urbaine et la compacité du bâti.
- Intérêt de la rénovation énergétique du parc de bâtiment pour les consommations de chauffage.
- Importance du comportement des usagers pour les consommations de climatisation.
- **Un outil pédagogique pour l'intégration de ces notions par les décideurs urbains.**

# 3. Applications de GENIUS : le projet ACCLIMAT

## 3.4. Discussion

### Limites de l'exercice

1. Problématiques

2. Développement de GENIUS

3. Applications de GENIUS

4. Conclusion et perspectives

- Difficulté d'appropriation par les décideurs urbains
- Réduction du domaine des possibles :
  - Nombre limité de scénarios
  - Nécessité d'une analyse de sensibilité
  - Circonscription géographique
- Limites des modèles
  - SLEDUM, GENIUS, TEB ...
  - Prospective ≠ Prédiction
  - Limite des thématiques abordées
- La ville n'est pas une machine thermique : nécessité de prendre en compte les critères sociaux et culturels

# 4. Conclusions et perspectives



# 4. Conclusions et perspectives

En conclusion

1. Problématiques

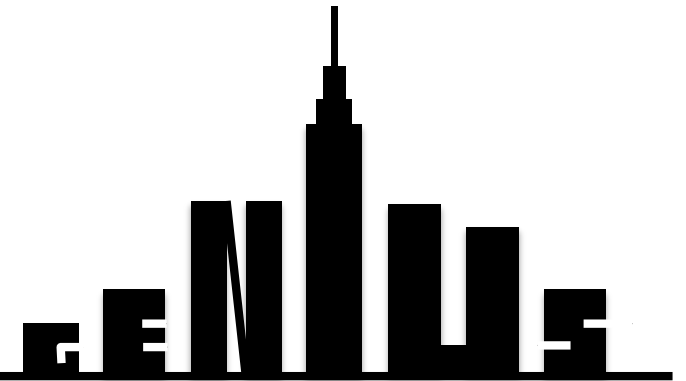
2. Développement  
de GENIUS

3. Applications  
de GENIUS

4. Conclusion et  
perspectives

- Une méthodologie.
- Un outil fonctionnel.
- Des premiers résultats scientifiques.
- De nombreuses perspectives d'application et d'amélioration !

GENérateur d'Ilots UrbainS





# 4. Conclusions et perspectives

## Les perspectives de recherche

1. Problématiques

2. Développement  
de GENIUS

3. Applications  
de GENIUS

4. Conclusion et  
perspectives

- Nécessité d'une analyse de sensibilité

Projet EPICURE

- Nécessité d'améliorer la méthode d'identification et la typologie des quartiers
- Nécessité de généraliser la méthode à d'autres contextes
- Ouvrir ce type de recherche vers les sciences humaines

Projet MAPUCE

# 4. Conclusions et perspectives

## Les perspectives pour les praticiens

### 1. Problématiques

### 2. Développement de GENIUS

### 3. Applications de GENIUS

### 4. Conclusion et perspectives

## GENIUS :

- Outil d'aide à la décision ou de diagnostic.
- Enseignement.
- De nouvelles pratiques et jeux d'acteurs envisageables.

## Projet ACCLIMAT :

- Des connaissances nouvelles.
- Transfert vers un bureau d'étude en cours.
- Une meilleure compréhension et appropriation des actions sur la ville, le climat, l'énergie.