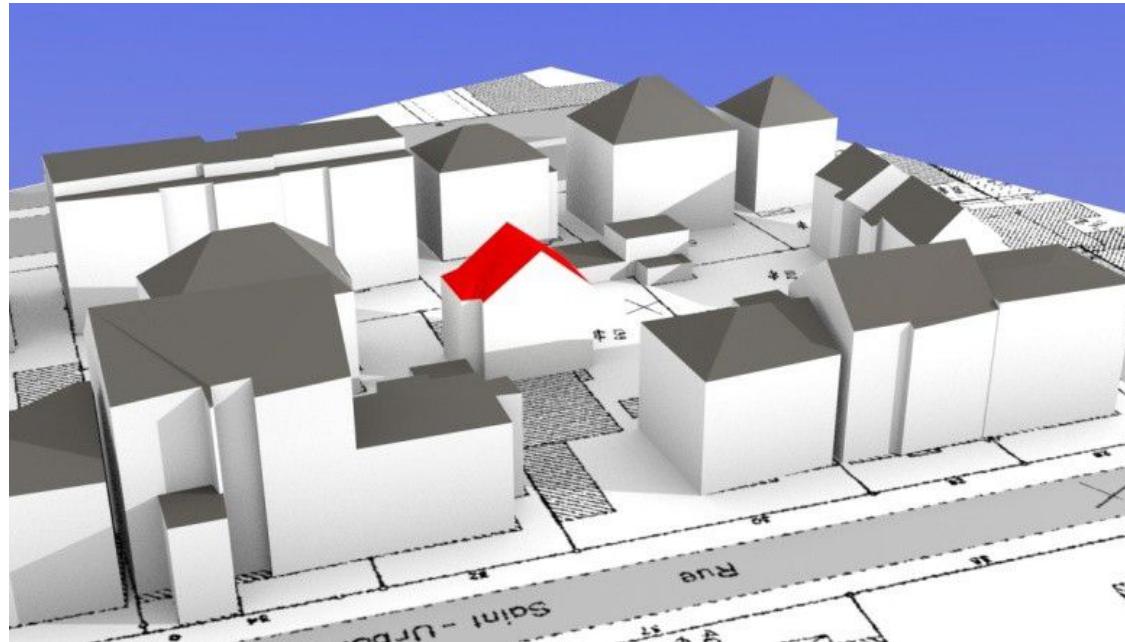


# Usages des données topographiques multi-dimensionnelles pour la simulation des évolutions

Travaux de l'axe de recherche sur les dynamiques spatiales



Mickaël Brasebin

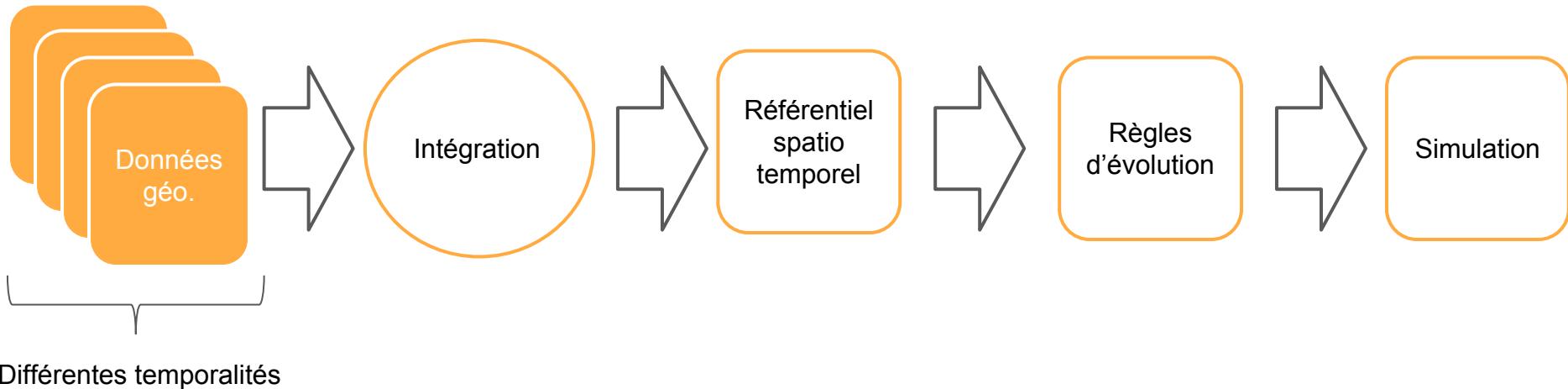
GOPRO 2017 - 13 - 14 décembre 2017, Lyon

# Contexte

---

- Recherches au sein de l'IGN en géomatique
  - Améliorer les données géographiques
  - Augmenter leur utilité en proposant des méthodes co-construites (géographes, urbanistes, historiens)
  - Valoriser les fonds cartographiques de l'IGN
- Enjeux sociaux
  - Compréhension des dynamiques territoriales et des interactions entre phénomènes physiques et sociaux
  - Outils prospectifs s'appuyant sur des données du passé
- Revue des recherches IGN sur les dynamiques spatio-temporelles

# Plan de la présentation



# Données géographiques : référentiels topographiques

Référentiel grande échelle



## Avantages

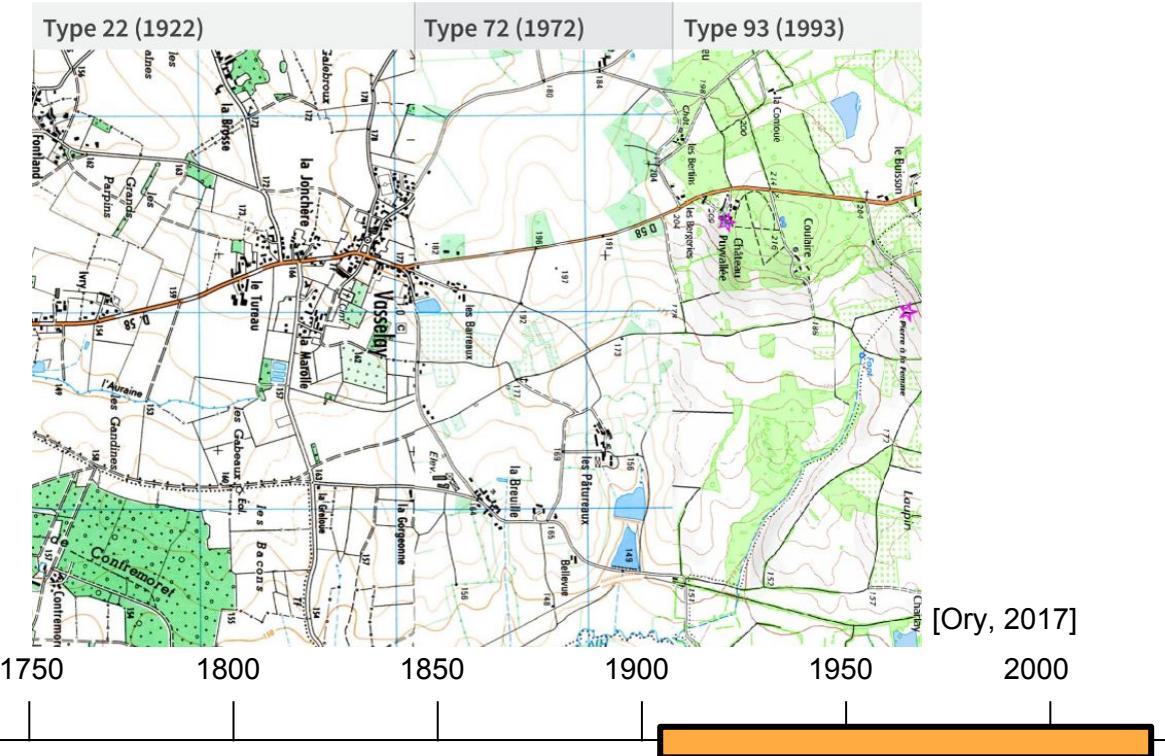
- Couverture homogène
- Gratuité
- (recherche, collectivité)
- Mise à jour régulière

## Inconvénients

- Changements de spécification
- Données récentes

# Données géographiques : cartes topographiques

Productions cartographiques de l'IGN



## Avantages

- Couverture homogène
- Mise à jour régulière

## Inconvénients

- Interprétation nécessaire
- Changements de spécification (données + style)

[Ory, 2017]

# Données géographiques : cartes topographiques

## Cartes anciennes : couverture nationale

Cartes de Cassini (1750 - 1818)



1750

1800

1850

Cartes d'État major (1820 - 1866)



1900

1950

2000

### Avantages

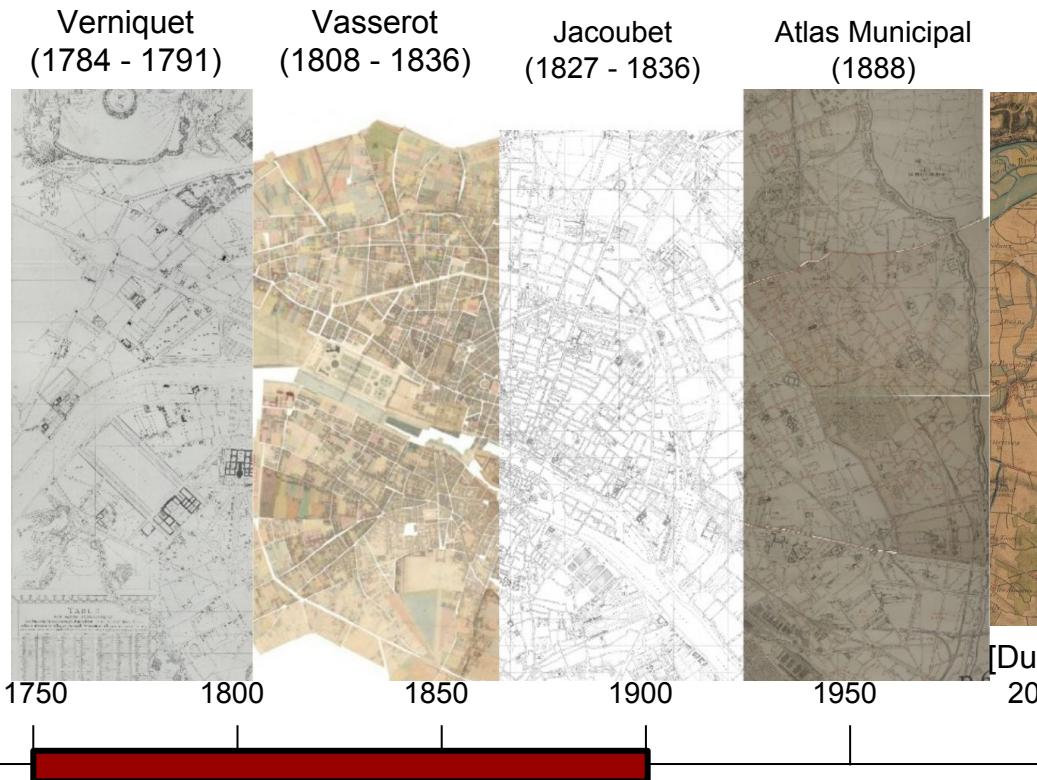
- Représentation ancienne du territoire

### Inconvénients

- Interprétation nécessaire
- Changements de spécification (données + style)
- Hétérogénéité importante
- Difficultés de datation des objets
- Mauvaise qualité des données

# Données géographiques : cartes topographiques

## Cartes anciennes de villes



### Avantages

- Représentation ancienne du territoire

### Inconvénients

- Interprétation nécessaire
- Changements de spécification (données + style)
- Hétérogénéité importante
- Difficultés de datation des objets
- Mauvaise qualité des données

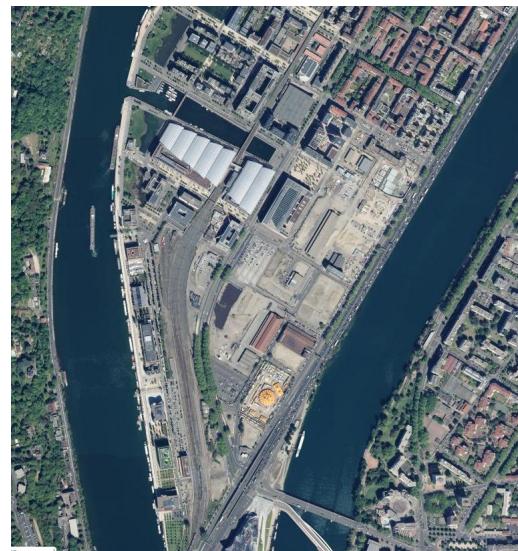
# Données géographiques : imagerie aérienne et spatiale

## Images aériennes anciennes

1956



2016



### Avantages

- Représentation du territoire depuis le début du XXe siècle
- Données accessibles gratuitement (pour les photos anciennes)

### Inconvénients

- Interprétation nécessaire
- Hétérogénéité importante entre dates et au sein d'une date
- Mauvaise qualité des données

1750

1800

1850

1900

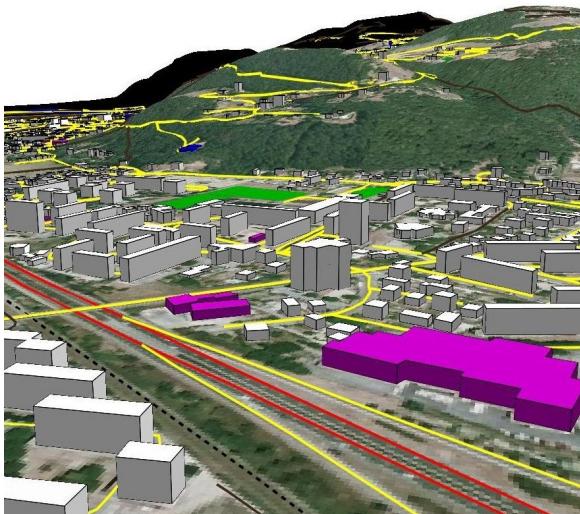
1950

2000

[remonterletemps.ign.fr]

# Données géographiques : modèles 3D de ville

RGE®



Bati 3D



## Avantages

- Modélisation de la 3e dimension
- Information de texture

## Inconvénients

- Couverture non-homogène
- Données parfois coûteuse
- Information difficile à manipuler

1750

1800

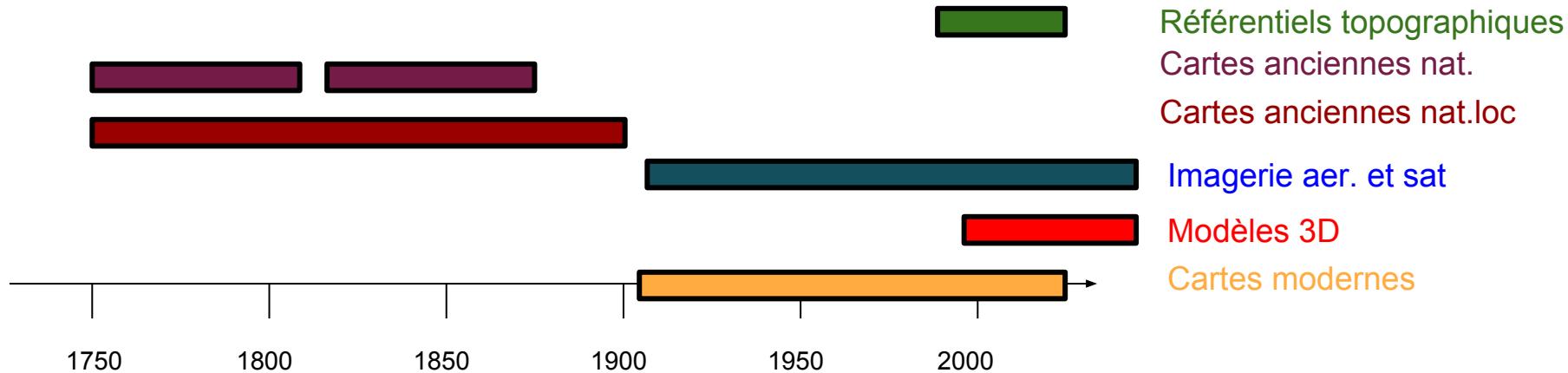
1850

1900

1950

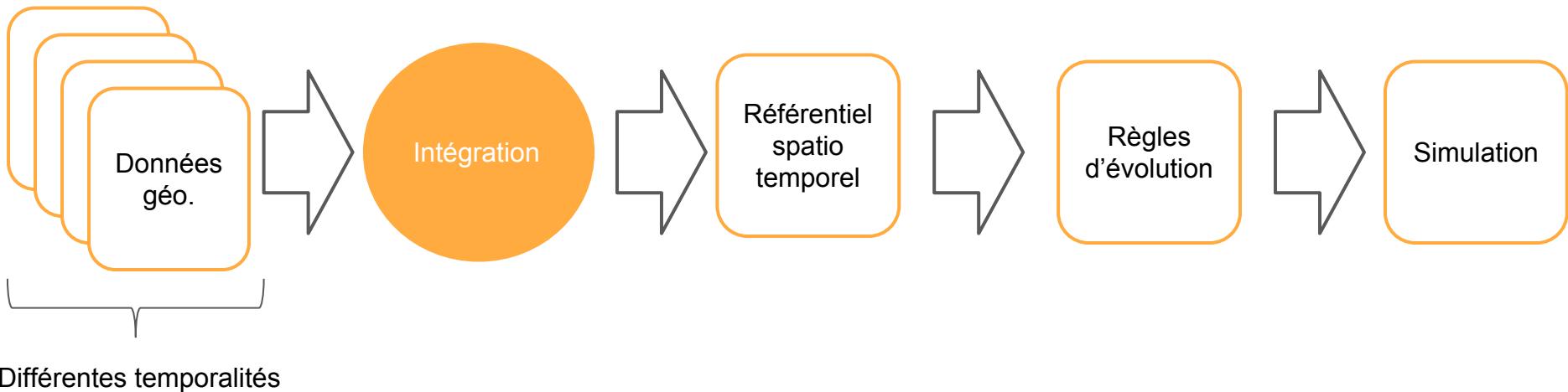
2000



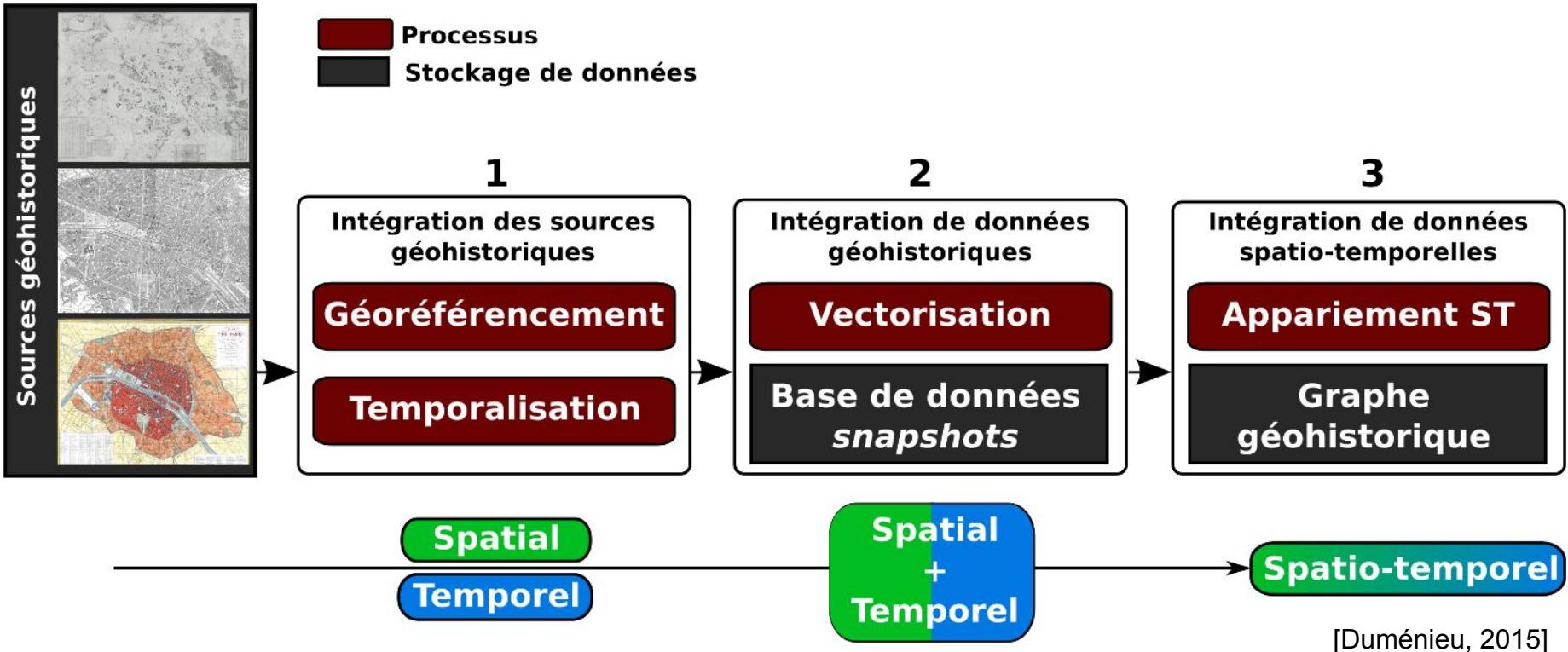


Comment acquérir et intégrer ces données pour comprendre les dynamiques spatiales ?

# Plan de la présentation

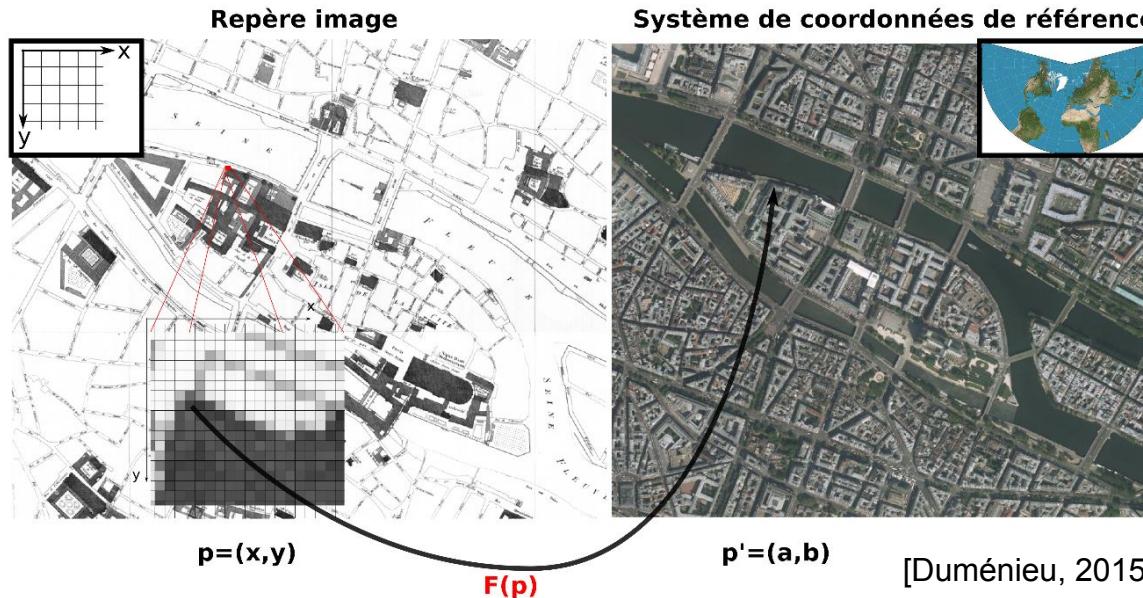


# Processus d'intégration



# Géo-référencement

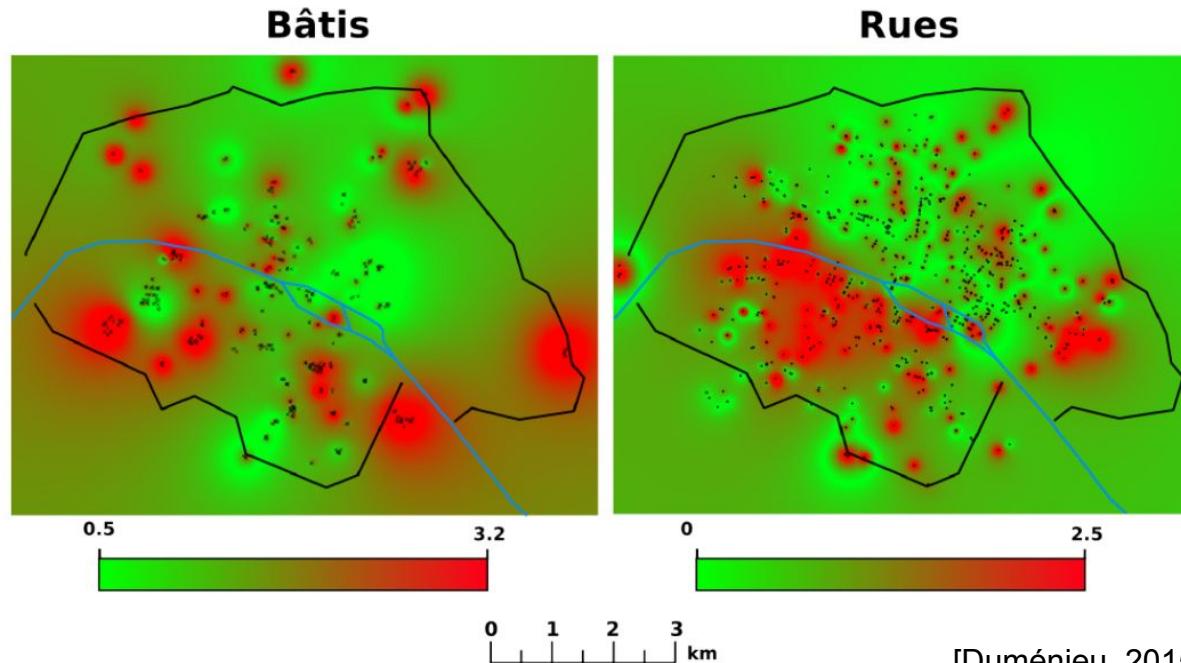
- **Principe :** affecter à chaque pixel d'une image des coordonnées géographiques
- **Méthode :**
  - Utilisation de points de correspondance (points d'amer)
  - Fonctions mathématiques ou statistiques



# Géo-référencement

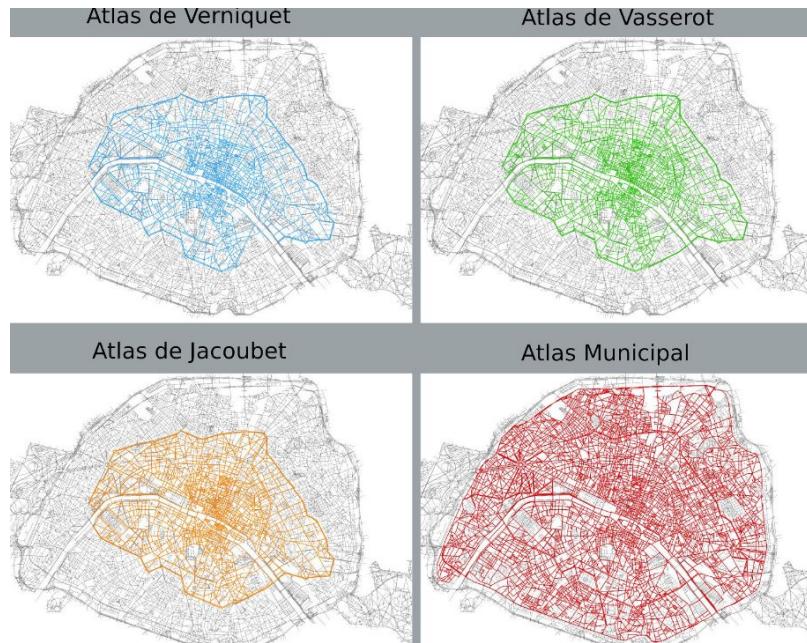
- Cartographie des résidus
  - Modèle d'erreur estimé par rapport à des points de référence

Plan de Verniquet



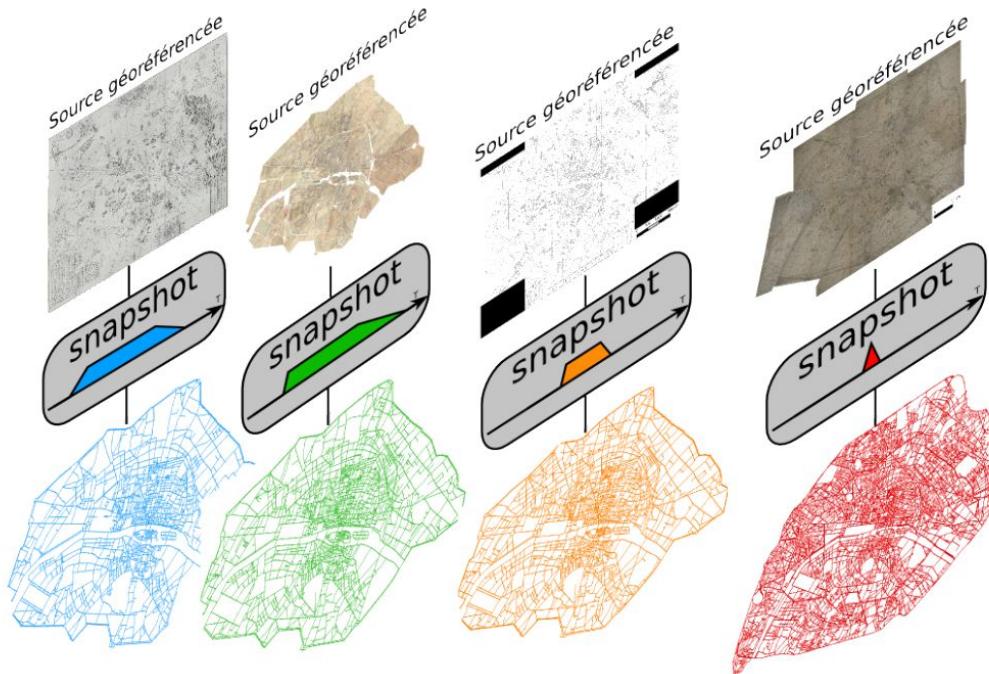
# Acquisition : vectorisation de cartes

- Plate-forme Geohistorical data : <https://www.geohistoricaldata.org/>
  - Données ouvertes



# Résultat de l'acquisition

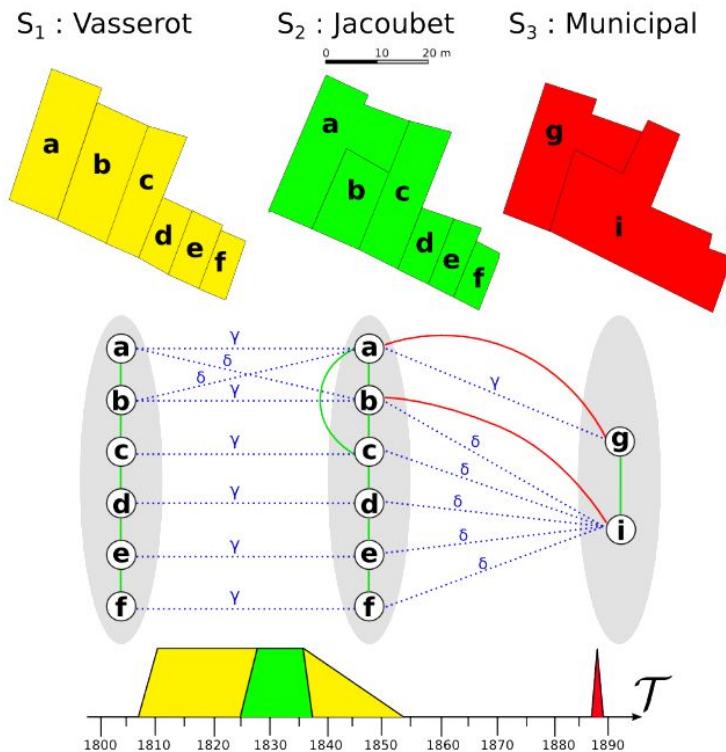
- Modélisation sous forme de snapshots



[Duménieu, 2015]

# Appariement spatio-temporel

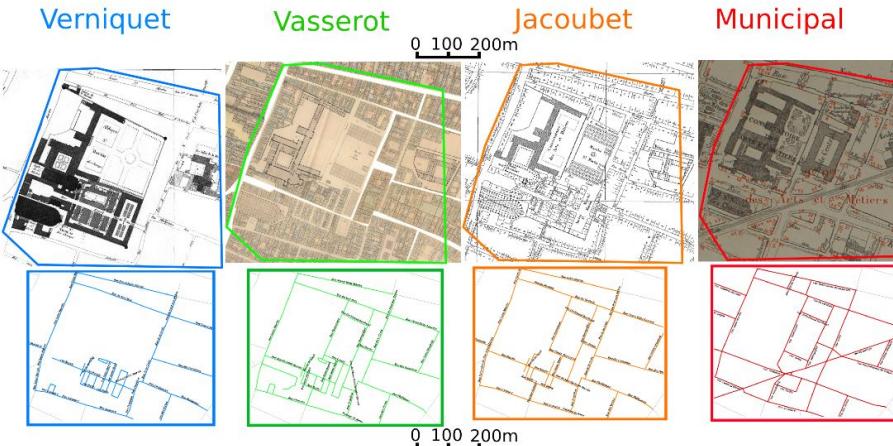
- **Graphe spatio-temporel :**
  - Structure permettant le suivi de l'évolution des objets dans le temps
- **Appariement :**
  - Détection d'objets homologues dans différentes base de données
    - Entre polygones [Bel Hadj Ali, 2001]
    - Par analyse de la topologie de graphe [Mustière, 2008]
    - Par méthode d'optimisation stochastique adaptée aux données géohistoriques [Duménieu, 2015]



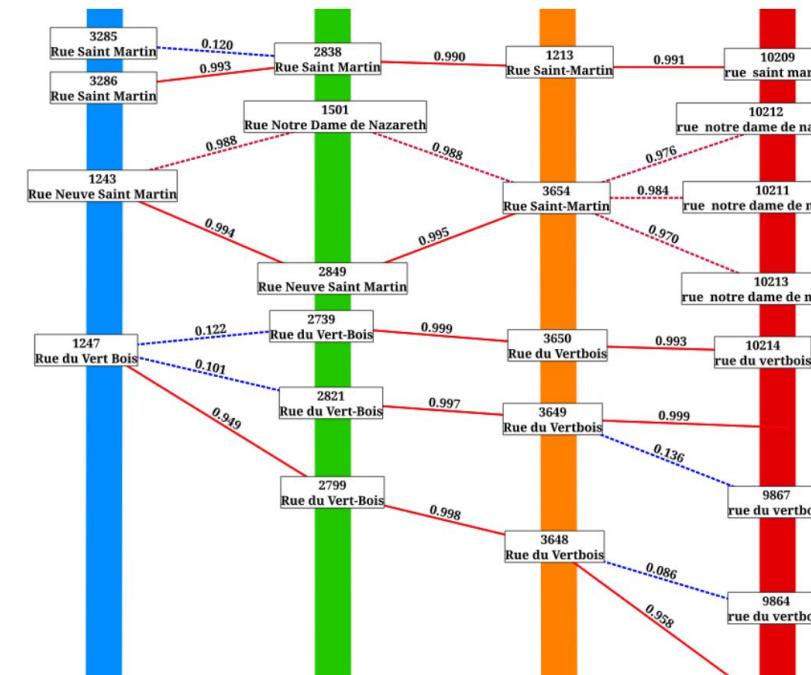
[Duménieu, 2015]

# Appariement géohistorique

- Recherche du processus de filiation le plus probable possible
  - Théorie de Dempster-Schafer
  - Méthode d'optimisation (recuit simulé)

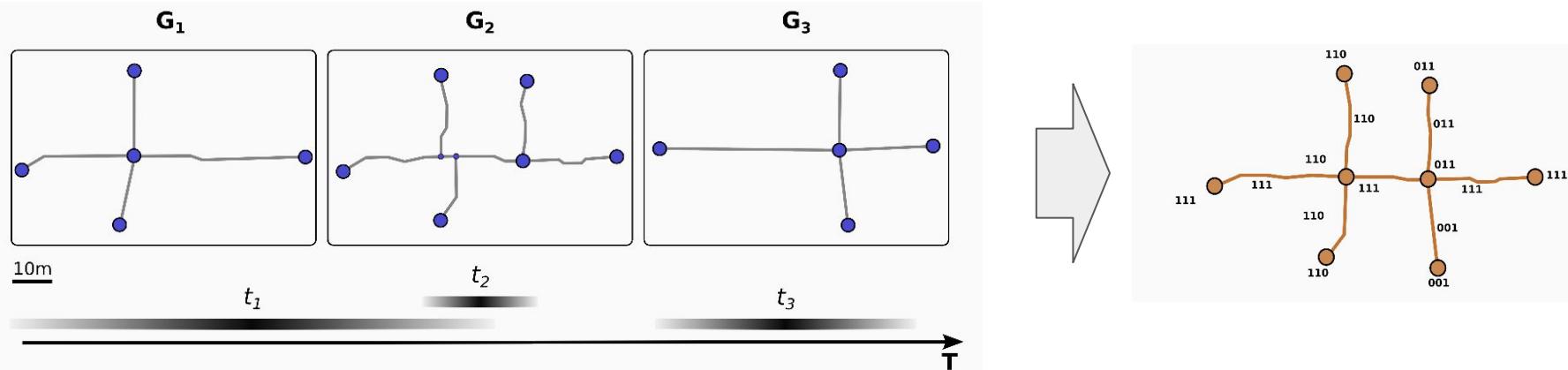


[Duménieu, 2015]

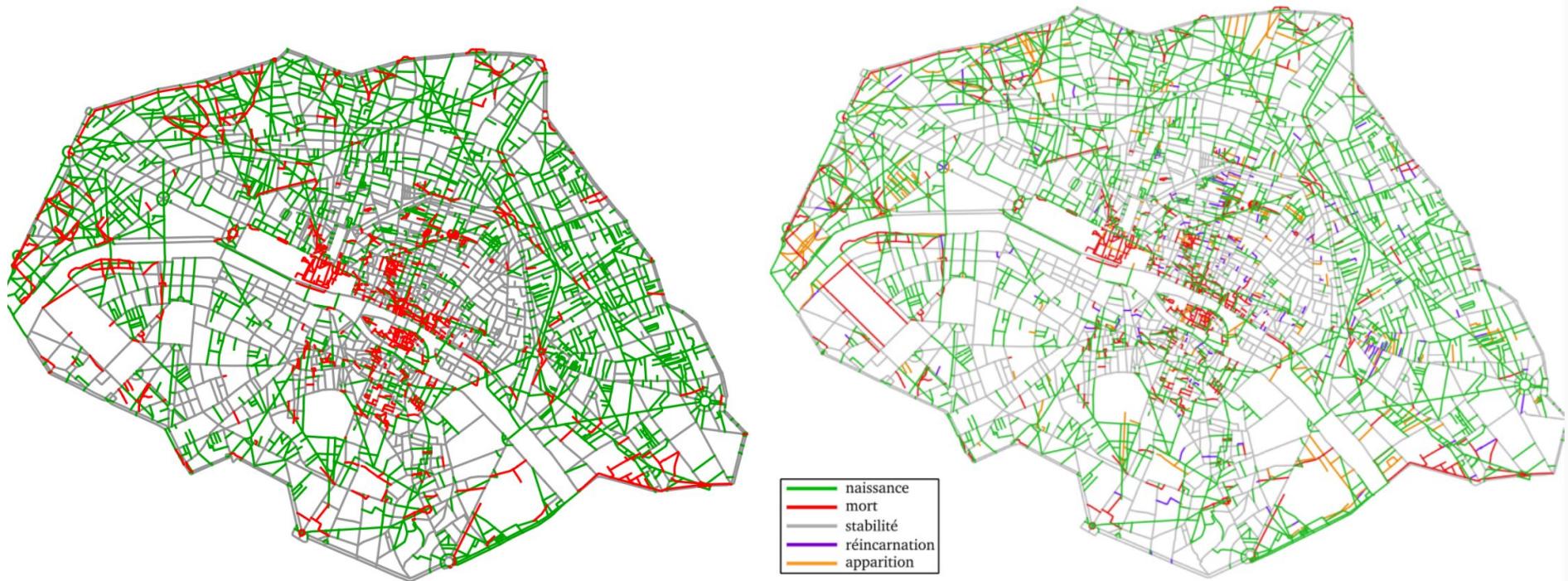


# Intégration des données

- Production d'un graphe spatio temporel
  - Structure intégrant les données à partir de leur filiation



# Analyse des évolutions



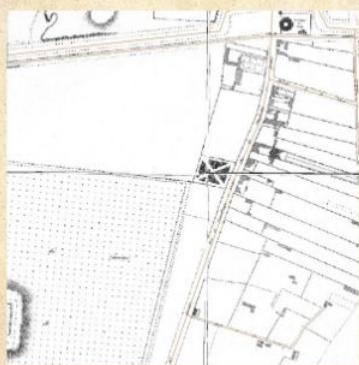
[Costes, 2016]

# Interrogation sur les données sources

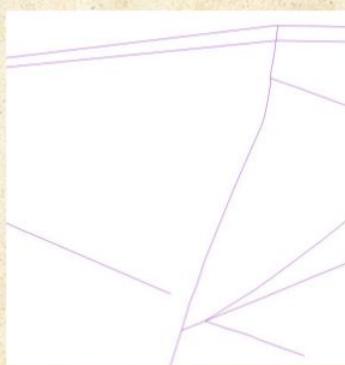
## (In)Validation d'évènements

- Rue Hauteville et rue de la Barrière Saint--Denis (apparition)
- Tracé dans le plan de Jacoubet
- Jamais construite avec l'ouverture de la gare du Nord en 1946

Verniquet



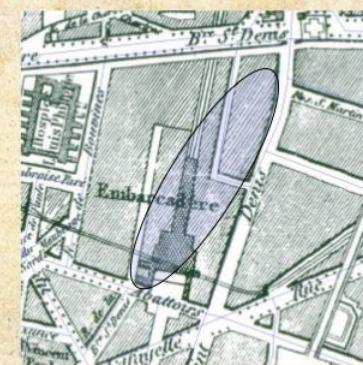
Vasserot



Jacoubet



Andriveau



1789

1808-1836

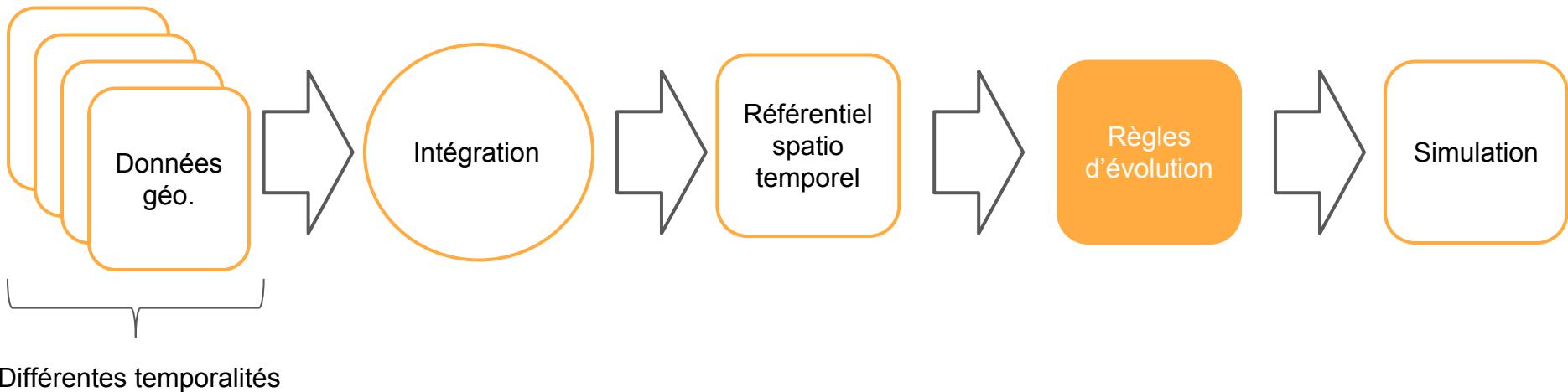
1827-1839

1849

1871

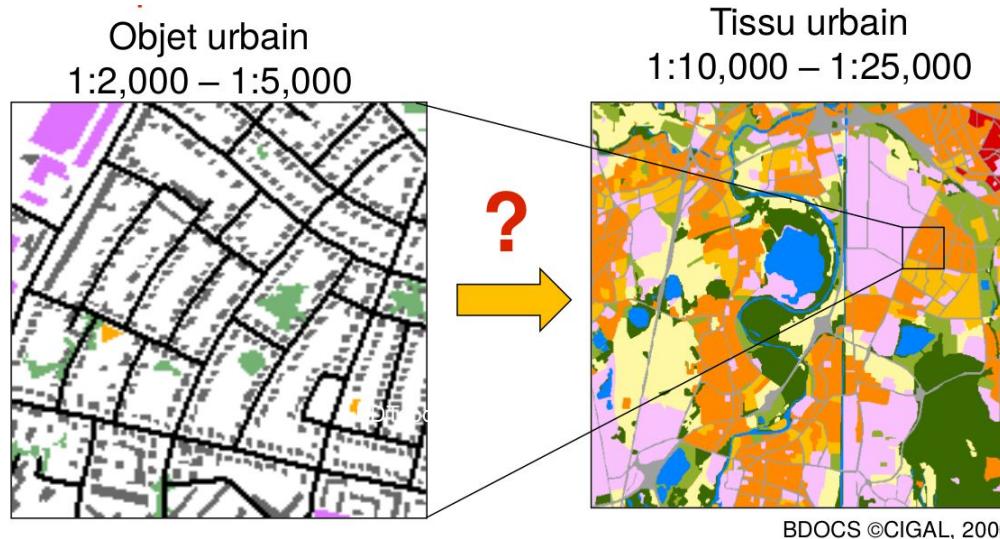


# Plan de la présentation



# Analyse des évolutions

- Quelles connaissances peut-on extraire de l'évolution d'un territoire ?
  - Exemple du projet GeOpenSim (2007 - 2010) [<http://geopensim.ign.fr/>]
- A priori :
  - Utiliser de la connaissance provenant exclusivement de données topographiques
  - Les règles représentant les évolutions sont temporelles



# Méthode

---

- Méthode en 4 étapes :
  - Etape 1 : Typologie des tissus urbains
  - Etape 2 : Calcul des mesures utiles pour caractériser un îlot
  - Etape 3 : Classification des îlots et validation
  - Étape 4 : Extraction de règles d'évolution

# Typologie des tissus urbains

(1) Centre ville



(2) Habitat individuel



(3) Habitat collectif



(4) Habitat mixte



(6) Emprise spécialisée



(7) Emprise spécialisée peu bâtie

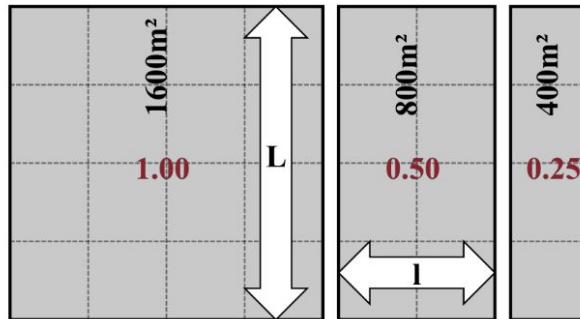


(5) Tissu mixte (activités + habitat)

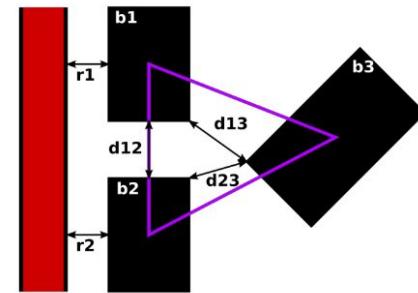
+ (8) réseau ferré / routier  
+ (9) hydrographie

# Calcul d'indicateurs morphologiques

- Mesures pour caractériser les îlots morphologiques :
- À l'échelle du bâtiment



Surface, élongation, convexité, ...



Distance entre bâtiments,  
distance à la route, ....

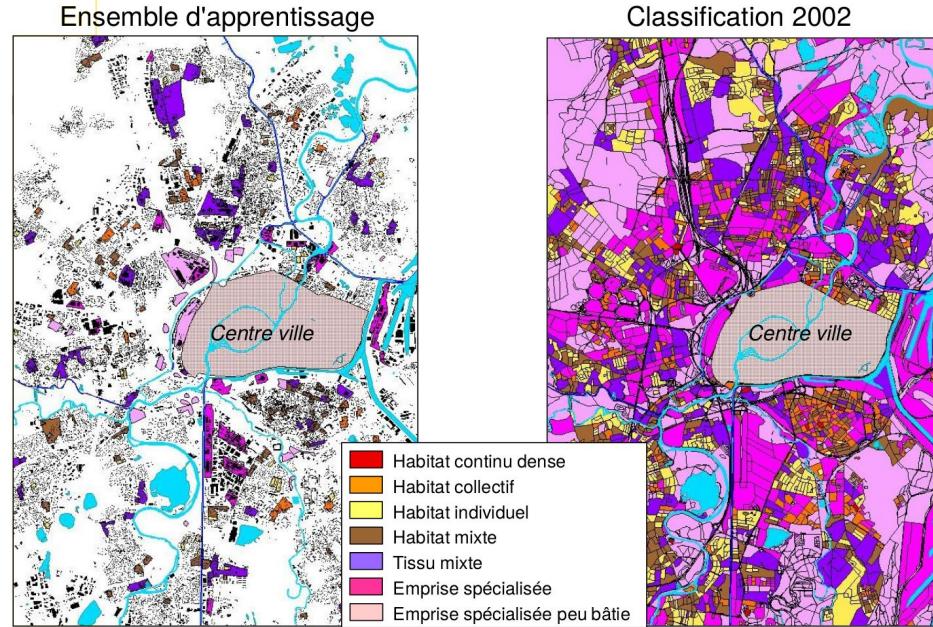
- À l'échelle de l'îlot

- Densité
- Surface bâtie
- Nombre de bâtiments



# Classification des îlots

- Apprentissage supervisé :
  - Arbre de décision
  - Règles : « Si densité > 0,05 et plus de 80% de bâtiments tels que aire < 185m<sup>2</sup> Alors classe\_îlot = habitat individuel »
  - Réapplication du classifier



# Extraction de règles d'évolution

- À l'échelle des tissus urbains :

## Changements de type

	Centre Ville	Habitat Collectif	Habitat Pavillonnaire	Habitat Mixte	Emprise Spécialisée bâtie	Tissu Urbain Mixte
Centre Ville	100	0	0	0	0	0
Habitat Collectif	0	80	0	20	0	0
Habitat Pavillonnaire	0	0	81,716,3	0	0	2
Habitat Mixte	0	0	0	97,2	0	0
Emprise Spécialisée bâtie	0	0	0	0	94,1	0
Emprise Spécialisée peu bâtie	0	0,5	0,9	0,6	0,5	97,5
Tissu Urbain Mixte	0	0	0	0	0	100

## Évolution de la densité

### Emprise Spécialisée peu bâtie

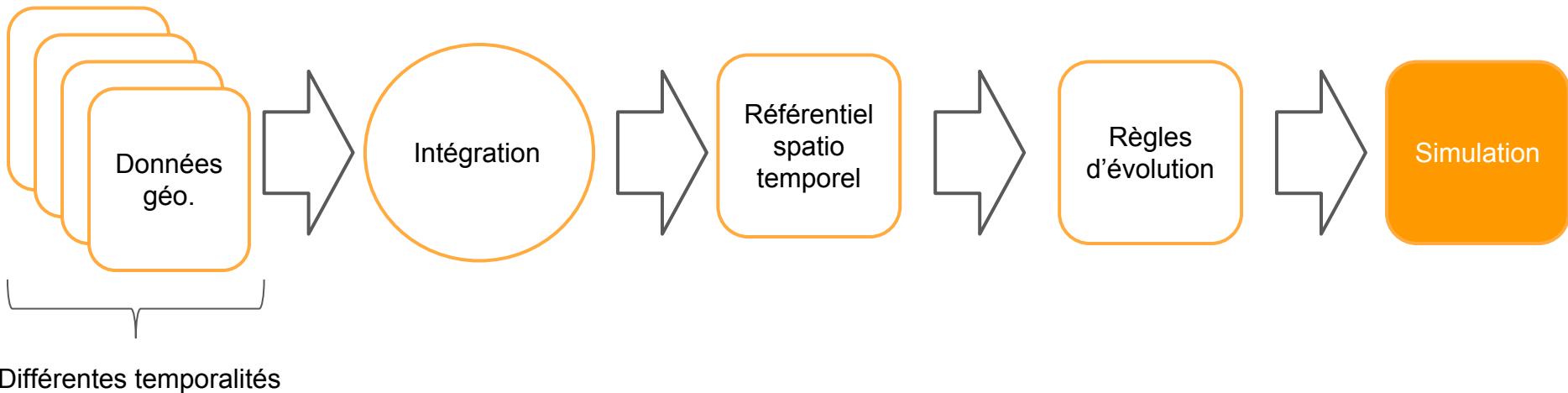
densité  $\in [0.00, 0.05]$   $\rightarrow$  85%  
densité  $\in [0.05, 0.10]$   $\rightarrow$  4.5%  
etc

- À l'échelle des îlots :

## Règles de peuplement

Nom de la méthode	«Barre»	«Grand Ensemble»	«Petit Collectif»
Période	1945-1960	1960-1980	1980-actuel
Distance à la route			
- distribution	normale	normale	normale
- min à max	5 à 15m	5 à 15m	4 à 10m
Distance interbâtiment			
- distribution	normale	normale	normale
- min à max	0 à 10m	5 à 15m	0 à 10m
Orientation du bât.			
- / à la route	parallèle	parallèle	parallèle
- / aux bâtiments	parallèle	parallèle	parallèle
Type de bâtiment 1 :			
- forme	rectangle	carré	barre dentelée
- aire			
- distribution	normale	normale	normale
- min à max	300 à 700m <sup>2</sup>	250 à 450m <sup>2</sup>	200 à 1000m <sup>2</sup>
- elongation	non renseigné	non renseigné	non renseigné
- épaisseur	10m	non renseigné	10m
- fréquence	100%	15%	95%
Type de bâtiment 2 :			
- forme		rectangle, L	escalier
- aire			
- distribution	normale	normale	normale
- min à max	600 à 1400m <sup>2</sup>	1500 à 2500m <sup>2</sup>	0,6
- elongation	non renseigné	non renseigné	non renseigné
- épaisseur	10m	85%	5%
- fréquence			

# Plan de la présentation



# Simulation multi-échelle

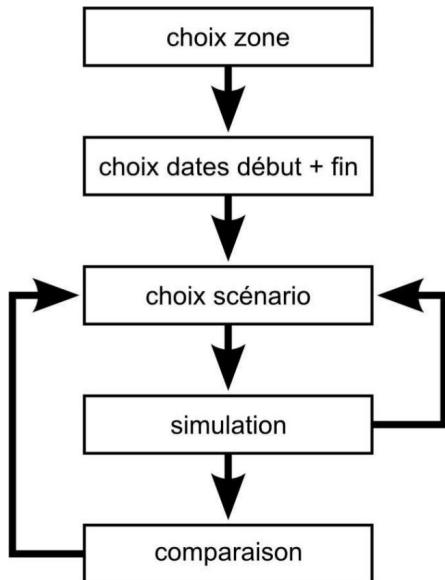
---

- Objectifs de la simulation :
  - Appréhender, d'analyser, d'anticiper l'impact de la forme de la ville sur les dynamiques urbaines (croissance, renouvellement)
  - Évaluer l'impact des décisions d'aménagement sur la forme de la ville

# Simulation multi-échelle

## - Objectifs de la simulation :

- Appréhender, d'analyser, d'anticiper l'impact de la forme de la ville sur les dynamiques urbaines (croissance, renouvellement)
- Évaluer l'impact des décisions d'aménagement sur la forme de la ville

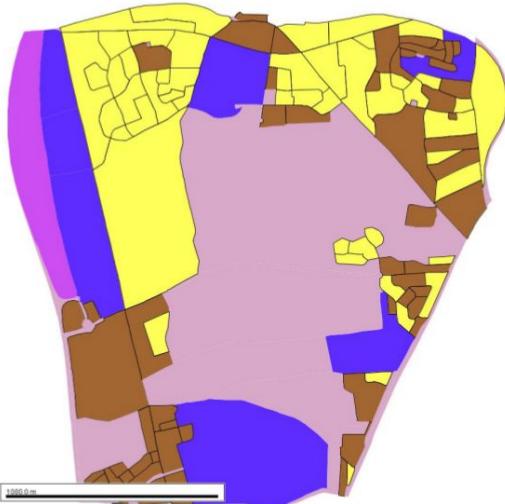


## Un scénario :

- Hypothèses de simulation
- Règles d'évolution

# Processus de simulation - Évolution des types de tissus

Situation initiale (2002)



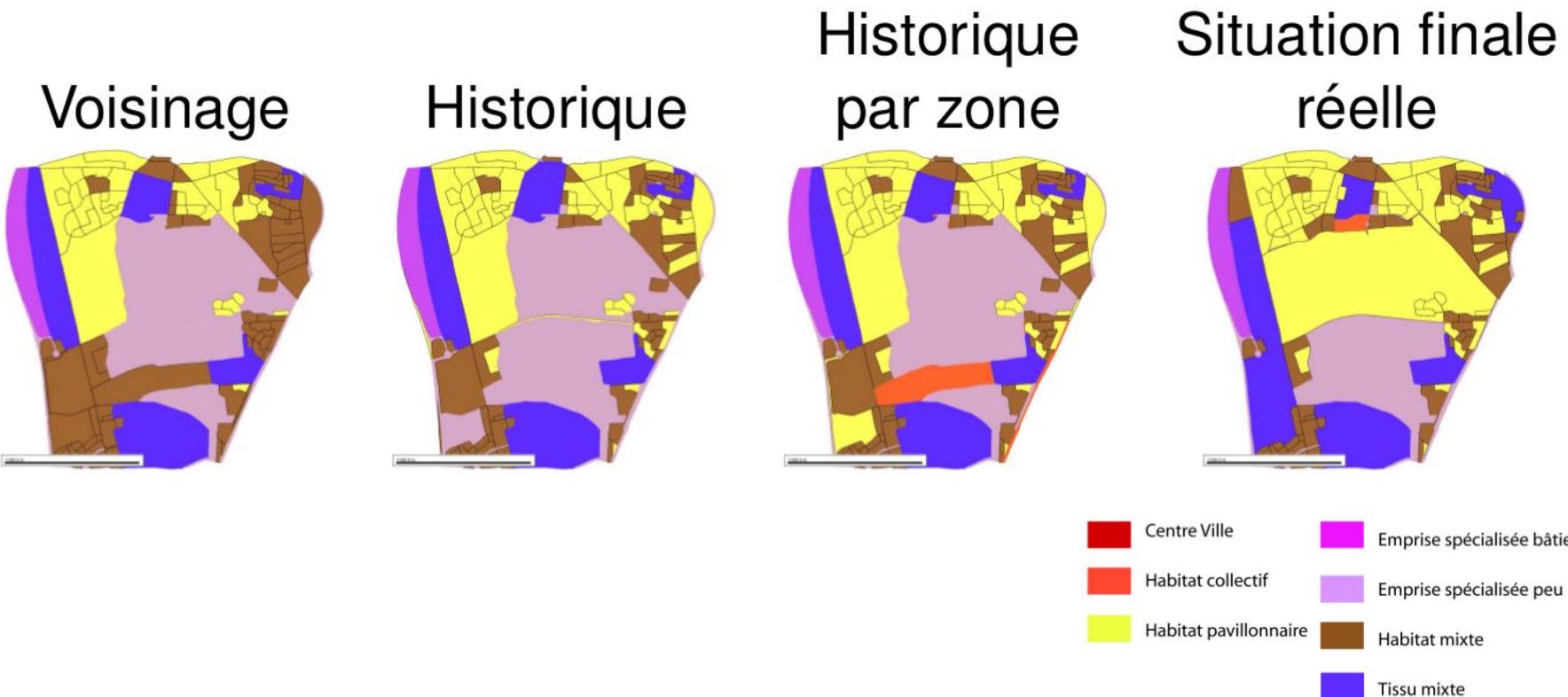
→

Classe objectif (2008)



- |                       |                               |
|-----------------------|-------------------------------|
| Centre Ville          | Emprise spécialisée bâtie     |
| Habitat collectif     | Emprise spécialisée peu bâtie |
| Habitat pavillonnaire | Habitat mixte                 |
| Tissu mixte           |                               |

# Processus de simulation - Évolution des types de tissus



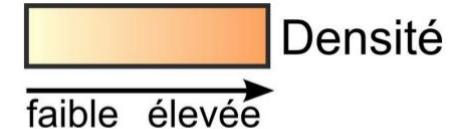
# Processus de simulation - Évolution de la densité

Situation initiale (2002)

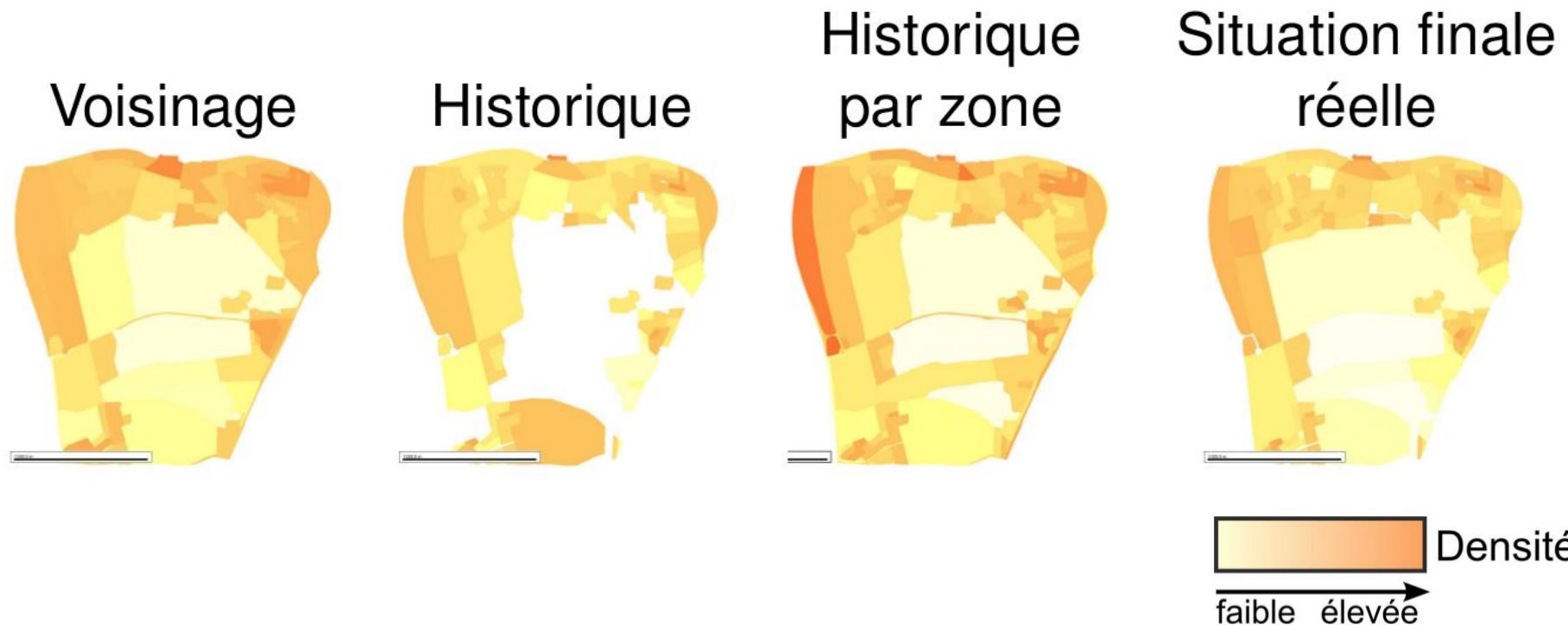


→

Densité objectif (2008)

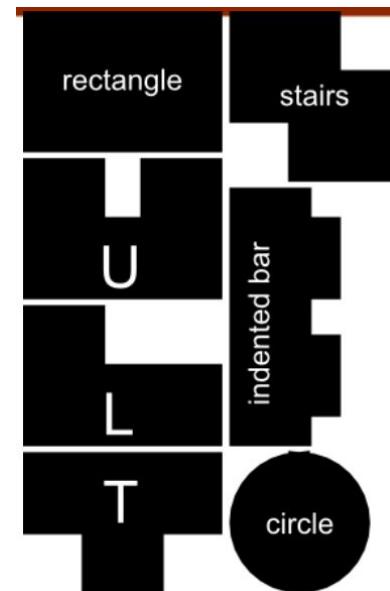
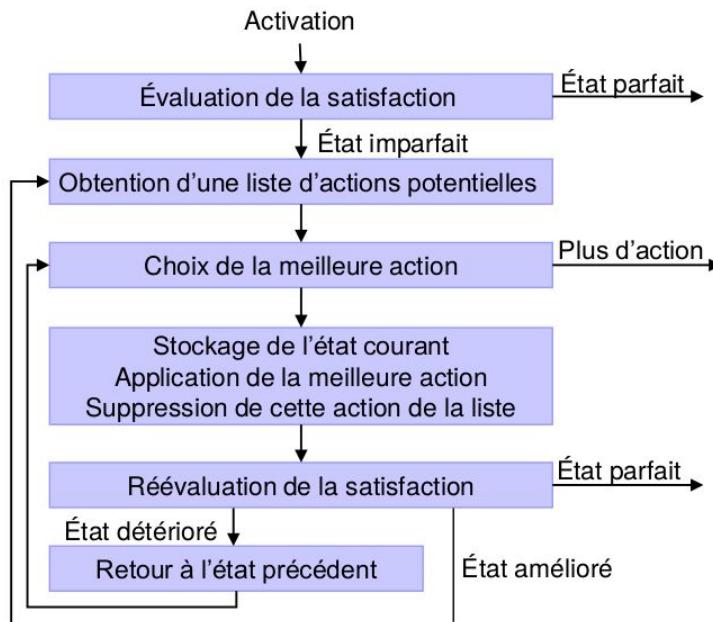


# Processus de simulation - Évolution de la densité



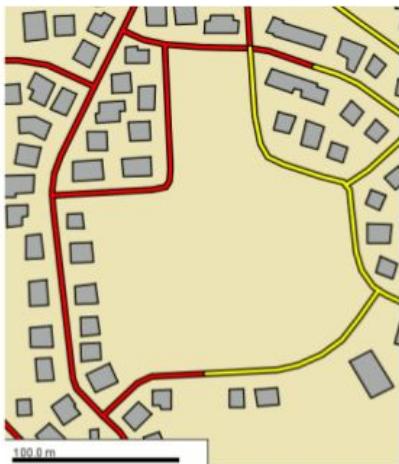
# Densification

- Ajout de bâtiments jusqu'à atteindre un densité cible
  - Application des règles de peuplement



# Résultats

- Simulation d'habitats individuels



1976



1989



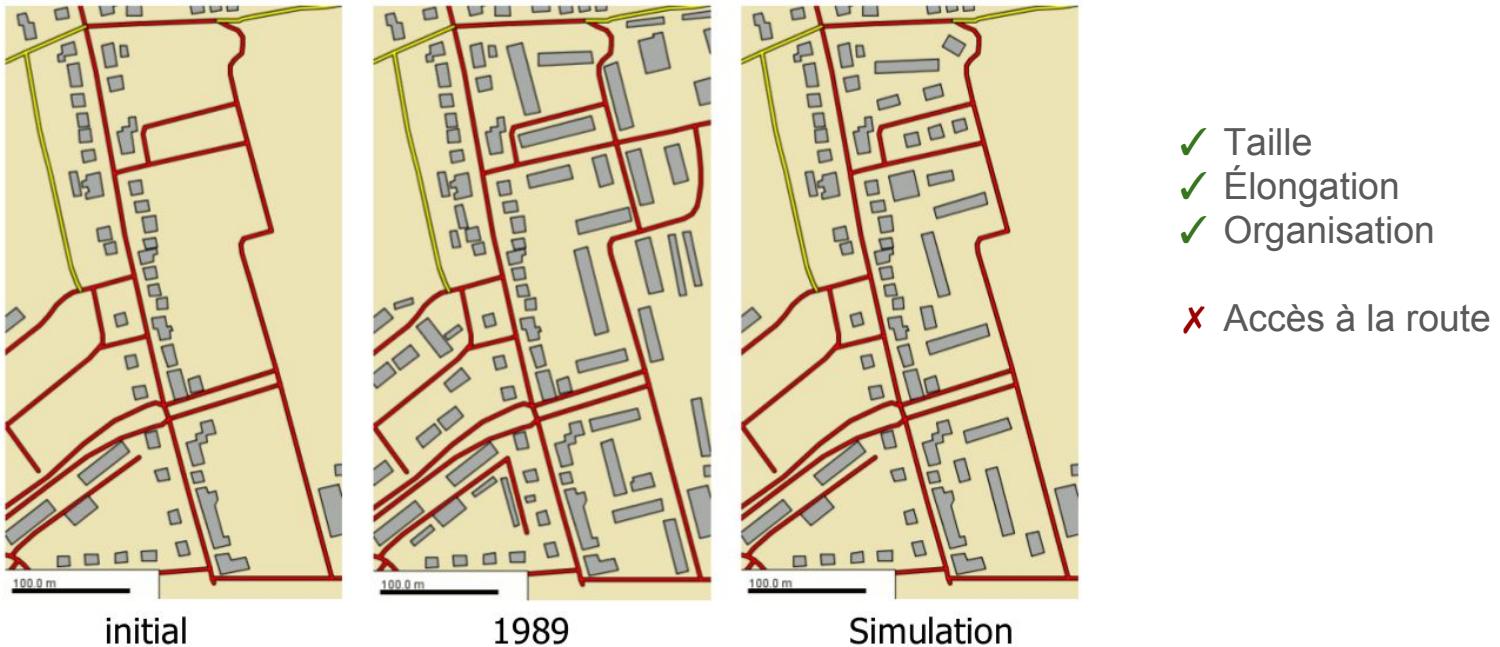
Simulation

✓ Organisation

✗ Crédit de routes

# Résultats

- Simulation d'habitats collectifs



# Simulation multi-échelle

- Objectifs de la simulation :
  - Appréhender, d'analyser, d'anticiper l'impact de la forme de la ville sur les dynamiques urbaines (croissance, renouvellement)
  - Évaluer l'impact des décisions d'aménagement sur la forme de la ville

# Réglementation des PLU

- Plan Local d'Urbanisme :
  - Document d'urbanisme opérationnel
  - Régulation de la constructibilité
    - Contraintes morphologiques 3D,
    - Fonctionnelles
    - D'aspect.
- Enjeu : évaluer la constructibilité

## UG.10.2.4 - Dispositions particulières applicables dans certains secteurs :

*Secteurs de Maisons et villas\* SL.16-31 (Villa de Montmorency) et SL.17-04 (Villa des Ternes) :*

Le gabant-enveloppe en bordure de voie défini par les dispositions de l'article UG.10.2.2 s'applique dans toute la profondeur du terrain, sans préjudice des limites fixées par le gabant-enveloppe défini en limite séparative par l'article UG.10.3.2.

Son point d'attachement pris au niveau du trottoir (ou à défaut du sol de la voirie), à l'alignement (ou à l'alignement de fait de la voirie privée), au droit du milieu de la façade de la construction.

*Secteur Montmarre (V, planches d'ilot spécifiques dans l'Atlas des plans de détail) :*

Le gabant-enveloppe en bordure de voie s'applique aux terrains bordant la voirie et à l'intérieur d'une bande de 20 mètres mesurée à partir du plan de la façade représentée sur les planches d'ilot de l'Atlas des plans de détail.

Il se compose successivement :

- a - d'une verticale comprise entre le sol et la côte rattachée au nivellement orthométrique indiquée sur les planches d'ilot ;
- b - le cas échéant, de 1 ou 2 niveaux en retrait. Aucun des retraits ne peut dépasser 3,00 m de hauteur et 0,40 m de profondeur, excepté si l'affecte un couronnement de pente nulle ; dans ce dernier cas, sa profondeur n'est pas limitée ;
- c - d'un couronnement de pente P (le cas échéant, de pentes P et P') défini ci-après selon la couleur du symbole inscrit sur les planches d'ilot (flet ou rectangle), limité par une horizontale située à une hauteur h au-dessus du sommet de la verticale :

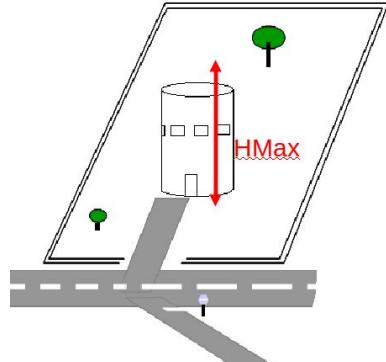
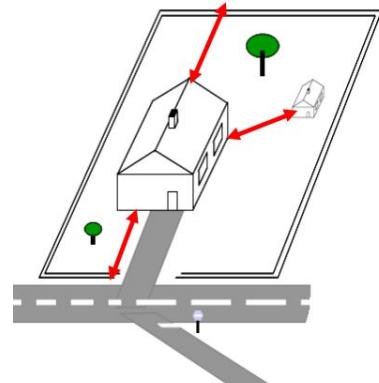
1 - $P = 0$	$h = 0$	symbole brun
2 - $0 < P \leq 30^\circ$	$h = 2,50$ mètres	rectangle rose
3 - $30^\circ < P \leq 45^\circ$	$h = 5$ mètres	rectangle vert
4 - $45^\circ < P \leq 70^\circ$ , P prolongée par une pente P'' telle que $0 < P'' \leq 15^\circ$	$h = 4$ mètres	flet bleu

*Secteur Clichy-Batignolles (ZAC Cardinet Chalabre, ZAC Clichy Batignolles, secteur Saussure) :*

Les dispositions de l'article UG.10.2.1 sont remplacées par les dispositions suivantes en bordure des voies citées ci-après :

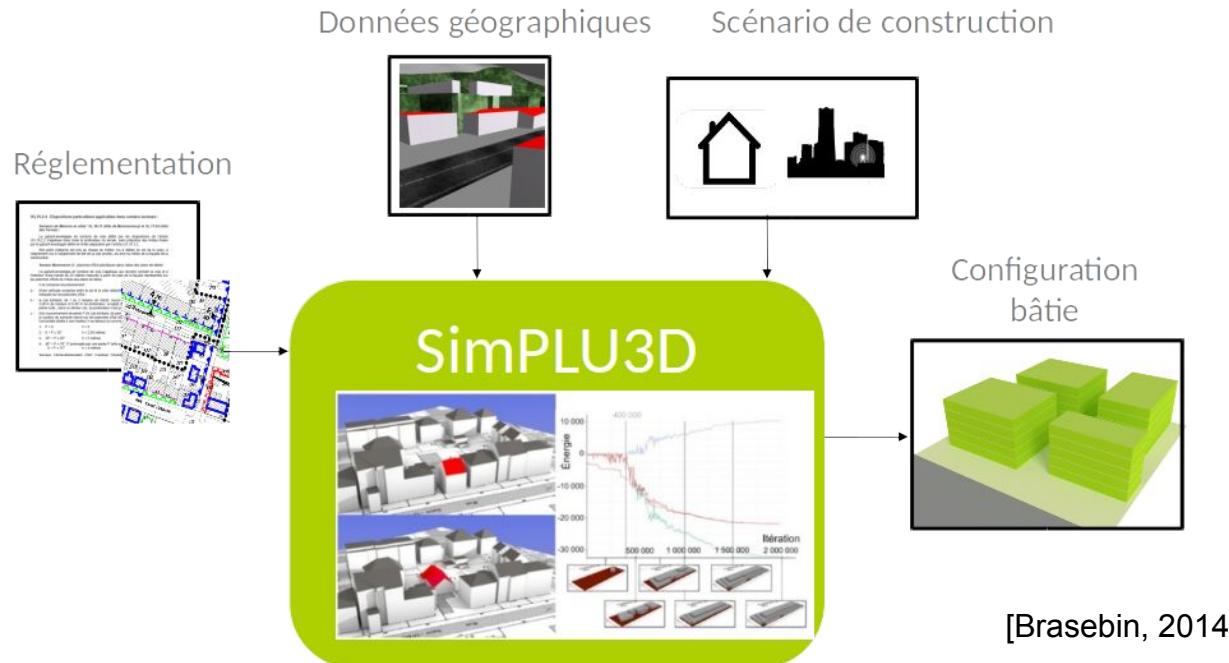
- Sur l'avenue de la Porte de Clichy, hors du sous-secteur Berthier Nord et sur les tronçons de voies à créer situés en ZAC qui bordent un espace vert public, où dont la largeur est supérieure ou égale à 20 mètres, le gabant-enveloppe est constitué d'une verticale limitée par une horizontale située à la hauteur plafond fixée par le Plan général des hauteurs.
- Sur la rue Cardinet et les tronçons de voies à créer situés en ZAC ne bordant pas d'espace vert public et dont la largeur est comprise entre 12 et 20 mètres, le gabant-enveloppe est constitué d'une verticale limitée par une horizontale fixée à 28 mètres de hauteur.
- Sur les tronçons de voies à créer situés en ZAC ne bordant pas d'espace vert public et dont la largeur est inférieure ou égale à 12 mètres, le gabant-enveloppe est

Règlement du PLU – tome 1 – Zone UG  
– page 51



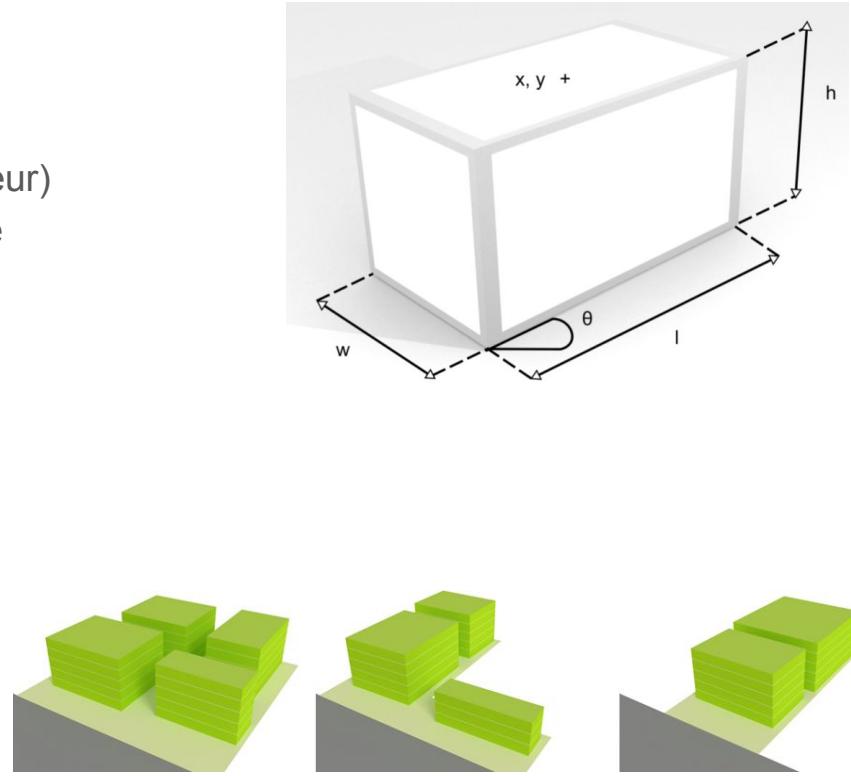
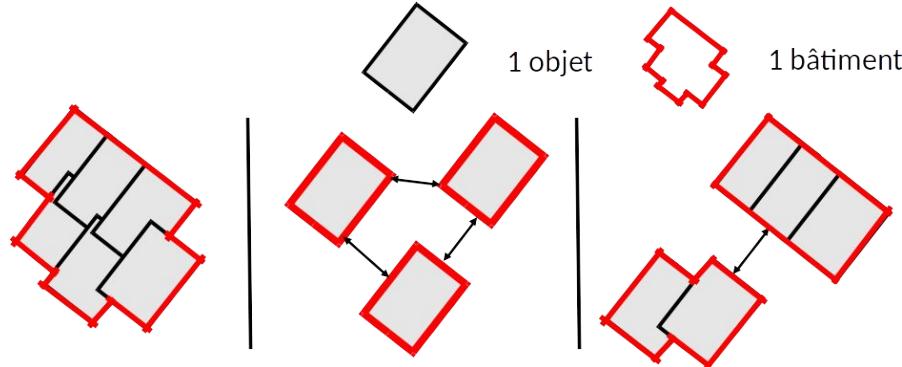
# Simulation de la constructibilité

- Proposition : SimPLU3D - simulateur de configurations bâties à l'échelle de la parcelle



# Méthode d'optimisation

- Recuit simulé transdimensionnel
  - Optimisation d'une fonction d'utilité (représente la stratégie d'un agent constructeur)
  - Configuration bâtie composée d'un ensemble d'objets paramétriques
- Avantages :
  - Plusieurs options de modélisation
  - Adapte la complexité de la solution



# Définition d'une simulation

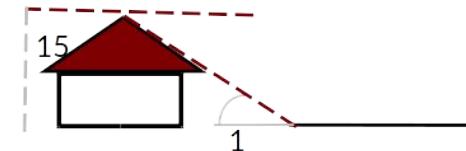
- Règles :

- Limitation emprise bâtie

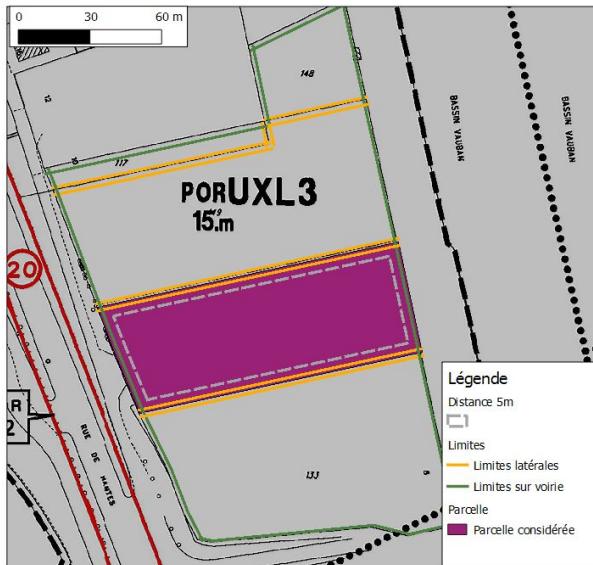


75%

- Limitation de la hauteur



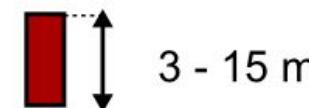
- Limitation de l'implantation



- Scénario :



5 - 30 m



3 - 15 m

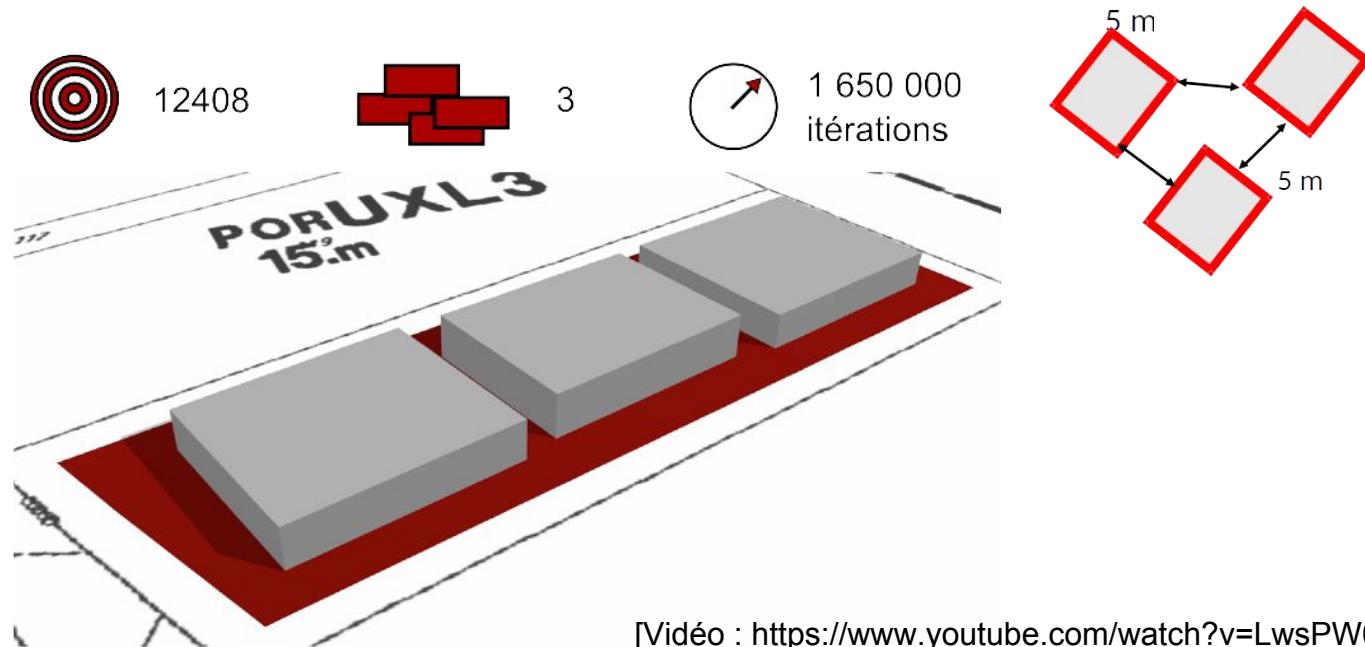


0 - 180°

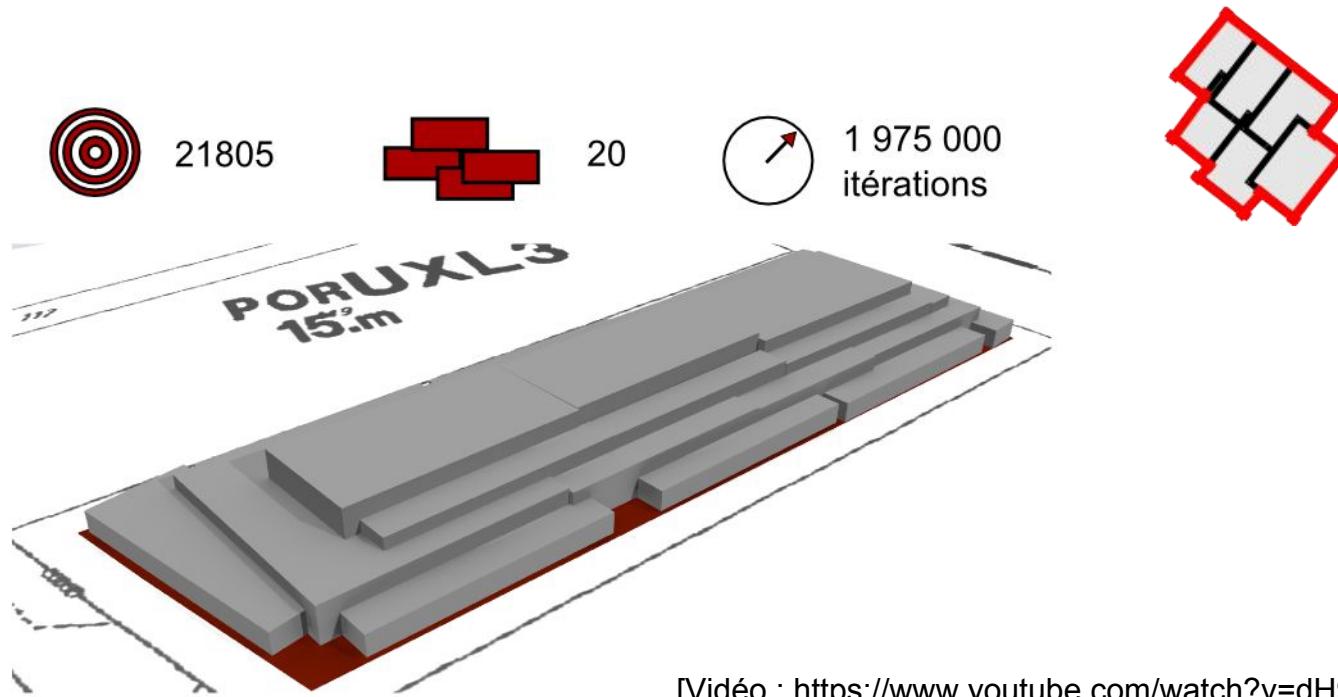


Volume

# Simulation de plusieurs bâtiments



# Simulation d'un bâtiment complexe

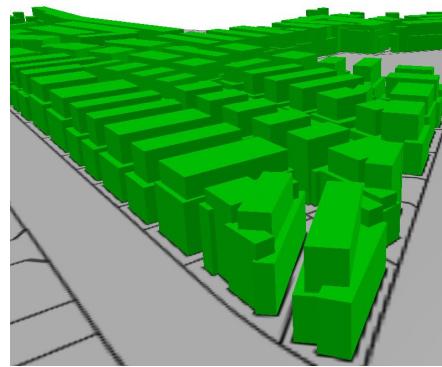


# Évaluation de la constructibilité en Ile-de-France

- Enjeu : produire un observatoire du prix du foncier
  - Une des composantes de ce prix est la capacité que l'on peut construire sur ce terrain (partenariat IAUIDF en cours)

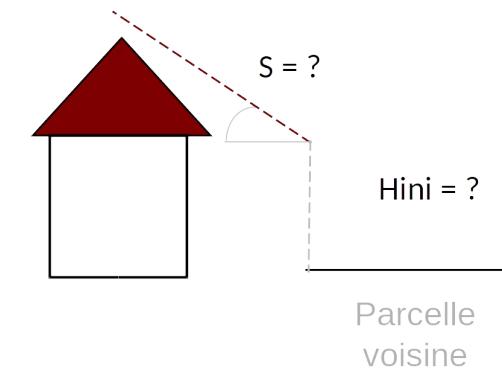
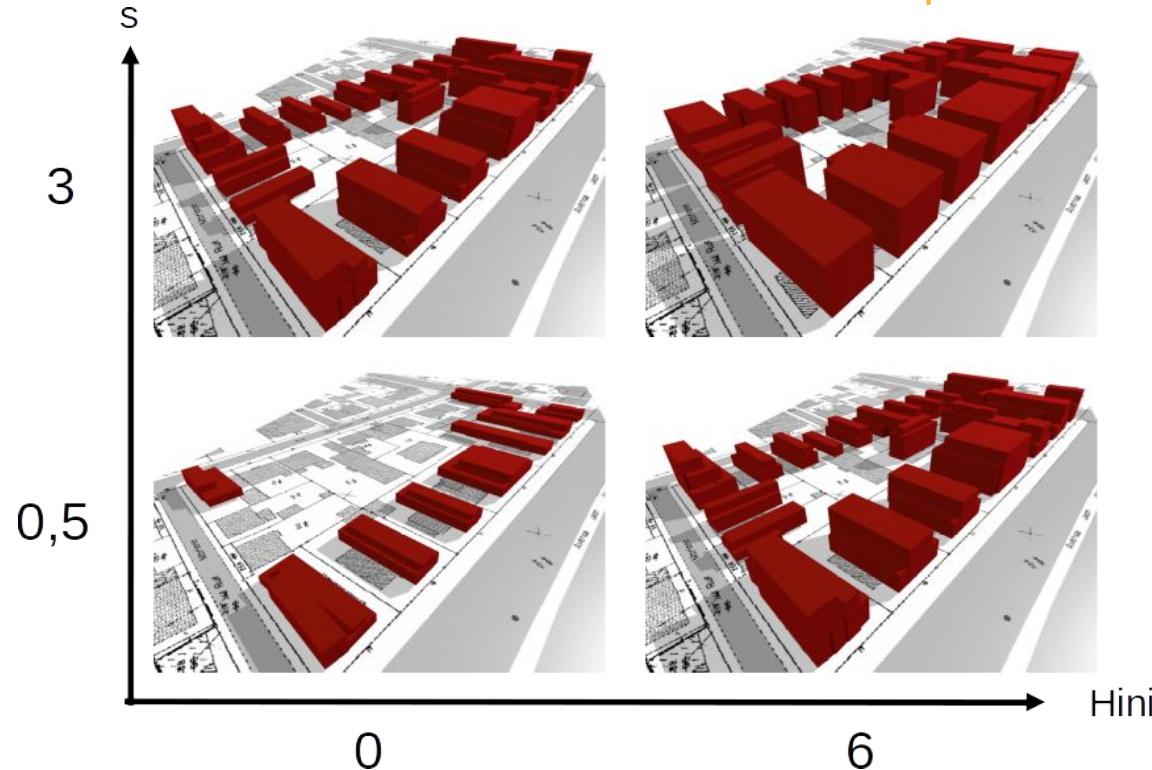


Sources cartographiques : BD Topo, IGN, Majic 2013, DGFP, BD constructibilité, CDC, DRIEA, EPPIF, IAU IdF, ORF. © ORF  
Traitement cartographique : IAU idF © ORF • Mise en forme & fonds cartographiques : IAU idF



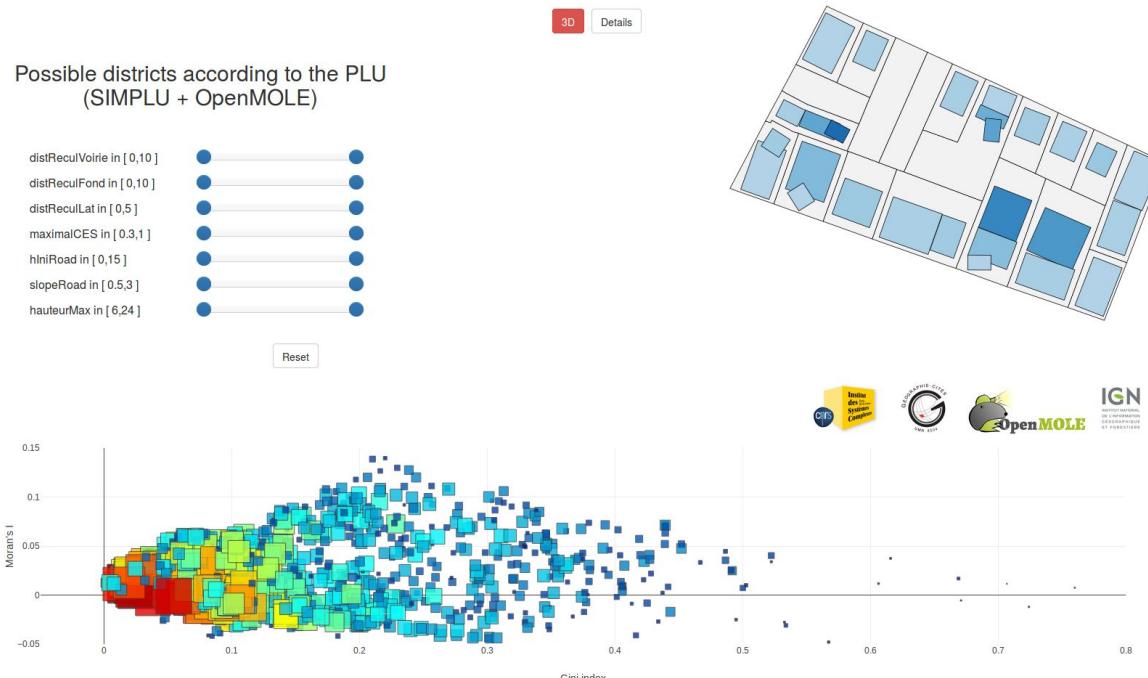
# Étude de différents scénarios

- Quelle est l'influence de la modification de paramètres ?



# Exploration de règles d'urbanisme

- Quel est l'ensemble des constructions possibles à partir d'une structure de PLU ?
  - SimPLU3D + OpenMole [<https://www.openmole.org/>] + PSE [Chérel, 2015]
  - Variété de configurations à partir d'indicateurs morphologiques



# Conclusion et perspectives

- Présentation des sujets de recherche sur les dynamiques spatiales
- Perspectives :
  - Gestion du multi-source / multi-média



# Conclusion et perspectives

---

- Présentation des sujets de recherche sur les dynamiques spatiales
- Perspectives :
  - Gestion du multi-source / multi-média
  - Intégration de connaissances métiers (=> Géocodage spatio temporel)
  - Passage à l'échelle
  - Exploration de paramètres / Calibration
  - Approche systématique à consolider (=> Prise en compte de l'évolution de la réglementation)

# Dépôts de code

---

- GeoHistoricalData : <https://github.com/GeoHistoricalData>
- GeOpenSim : <https://github.com/IGNF/geoxygene-geopensim>
- SimPLU3D : <https://github.com/IGNF/simplu3D>
- SimPLU3D + OpenMole : <https://github.com/IGNF/simplu3D-openmole>

# Références bibliographiques

---

- Bel Hadj Ali, A. (2001) Qualité géométrique des entités géographiques surfaciques, Application à l'appariement et définition d'une typologie des écarts géométriques, Thèse de doctorat, spécialité Sciences de l'Information Géographique, Université de Marne la Vallée, oct 2001
- Brasebin, M. (2014) Les données géographiques 3D pour simuler l'impact de la réglementation urbaine sur la morphologie du bâti, Thèse de doctorat, spécialité Sciences et Technologies de l'Information Géographique, Université Paris-Est, apr 2014
- Brasebin, M., P. Chapron, G. Chérel, M. Leclaire, I. Lokhat, J. Perret and R. Reuillon (2017) Apports des méthodes d'exploration et de distribution appliquées à la simulation des droits à bâtir, Actes du Colloque International de Géomatique et d'Analyse Spatiale (SAGEO 2017)
- Chamberland J. (2017), Analyse morphologique des quartiers de la rénovation urbaine : construction d'indicateurs et applications, Rapport de stage, Laboratoire d'excellence « Intelligences des Mondes Urbains » - Stage effectué au COGIT (IGN)
- Chérel G., Reuillon R., Cottineau C. (2015). Beyond corroboration: strengthening model validation by looking for unexpected patterns. PloS one, p. 20.
- Costes, B. (2016);: Vers la construction d'un référentiel géographique ancien: un modèle de graphe agrégé pour intégrer, qualifier et analyser des réseaux géohistoriques, Spécialité Sciences et Technologies de l'Information Géographiques, Univ. Paris Est, 11 2016
- Dumenieu, B. (2015) Un système d'information géographique pour le suivi d'objets historiques urbaines à travers l'espace et le temps, EHESS (Spécialité mathématiques et applications aux sciences de l'homme)
- Mustière, S. and T. Devogele (2008) Matching networks with different levels of detail, GeoInformatica, vol. 12, n. 4, pp. 435--453
- Ory J. (2017), Les cartes topographiques ont du style !, Carte à la une de Géoconfluences.