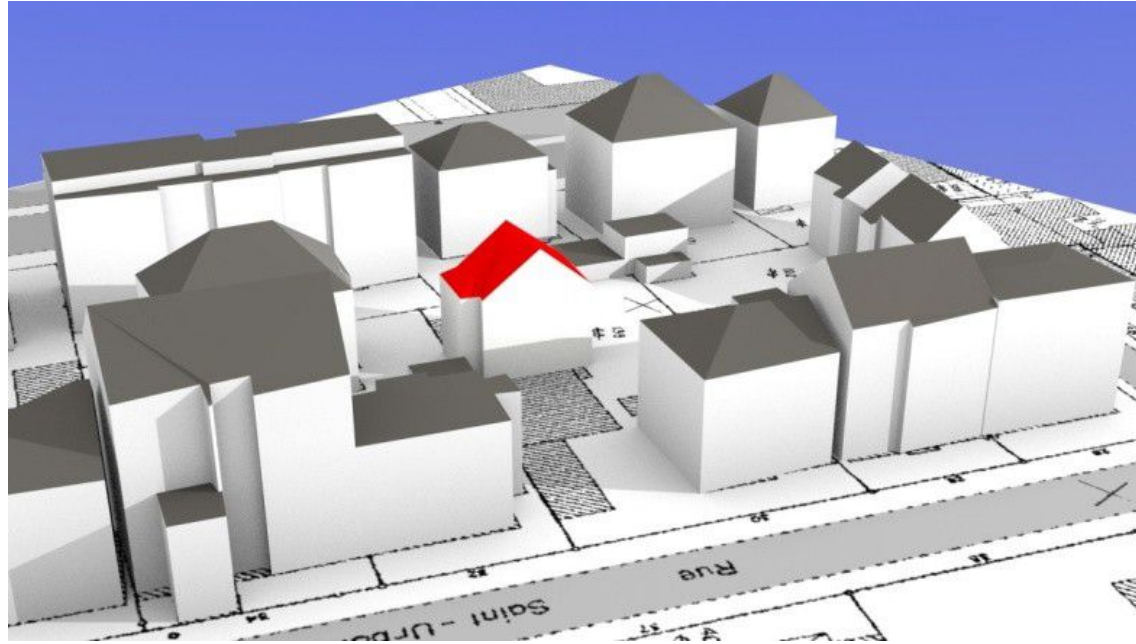


# Usages des données topographiques multi-dimensionnelles pour la simulation des évolutions

Travaux de l'axe de recherche sur les dynamiques spatiales



Mickaël Brasebin

GOPRO 2017 - 13 - 14 décembre 2017, Lyon

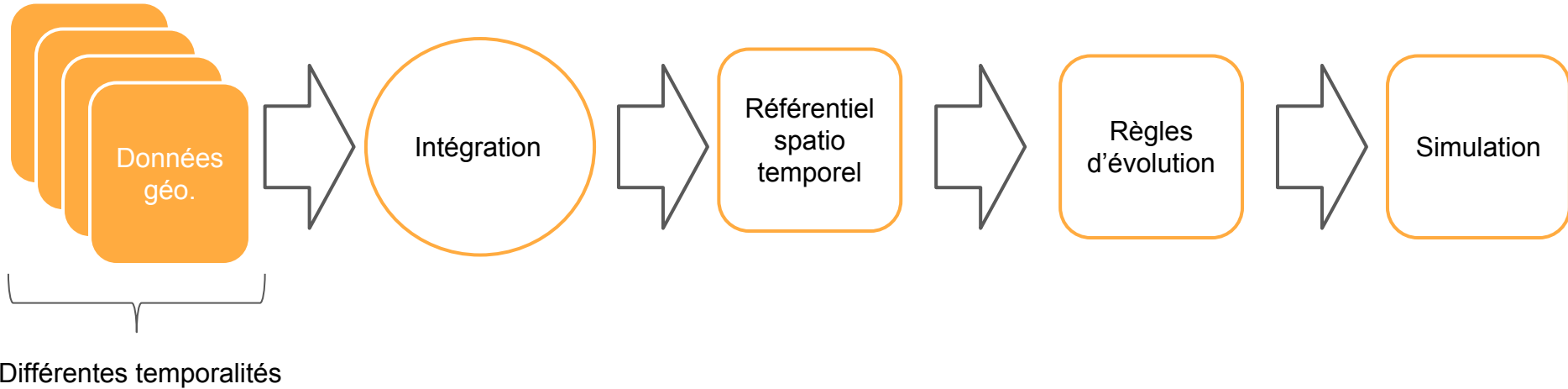
# Contexte

---

- **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 sociétaux**
  - 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

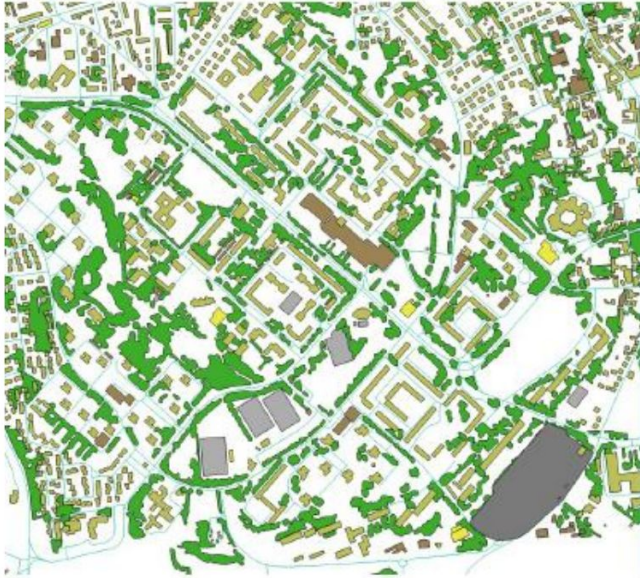
---



# Données géographiques : référentiels topographiques

## Référentiel grande échelle

1999



2016



### Avantages

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

### Inconvénients

- Changements de spécification
- Données récentes

[Chamberland, 2017]

1750

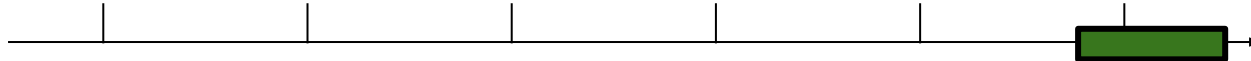
1800

1850

1900

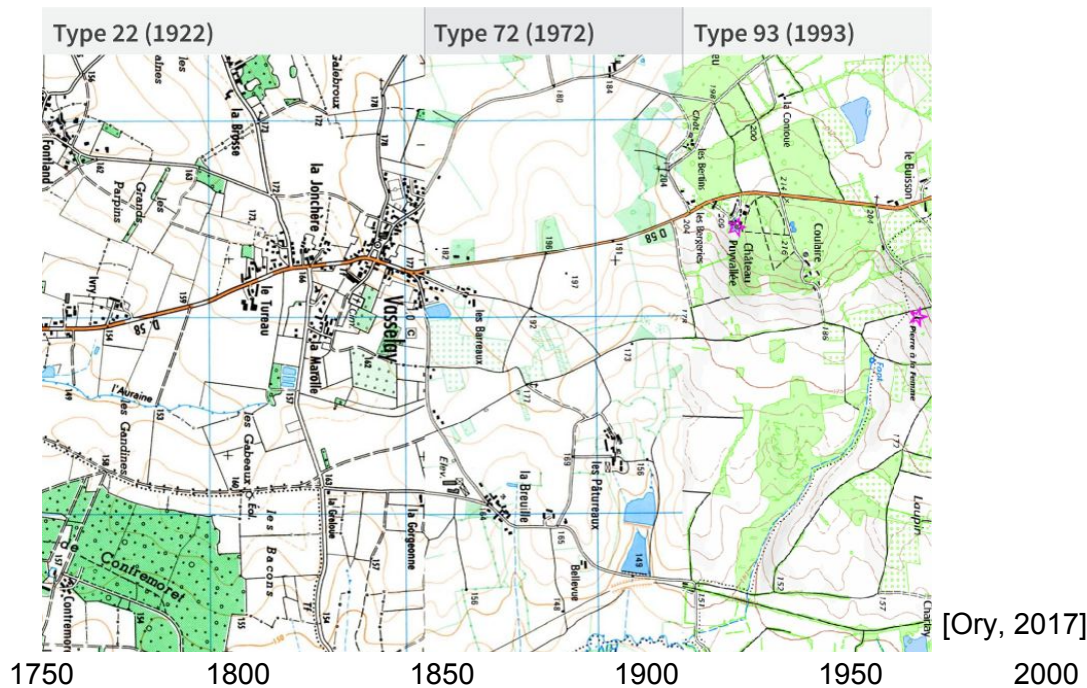
1950

2000



# Données géographiques : cartes topographiques

Productions cartographiques de l'IGN



## Avantages

- Couverture homogène
- Mise à jour régulière

## Inconvénients

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



# 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

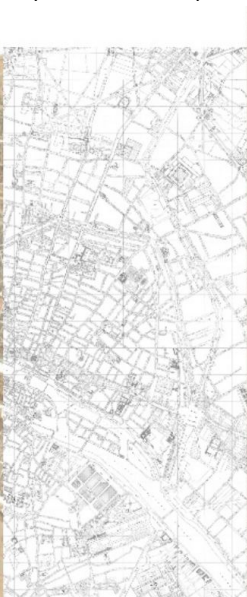
## Cartes anciennes de villes

Verniquet  
(1784 - 1791)

Vasserot  
(1808 - 1836)

Jacoubet  
(1827 - 1836)

Atlas Municipal  
(1888)



1750

1800

1850

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

[Dumenieu, 2015] objets

# 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

[remonterletemps.ign.fr]

1750

1800

1850

1900

1950

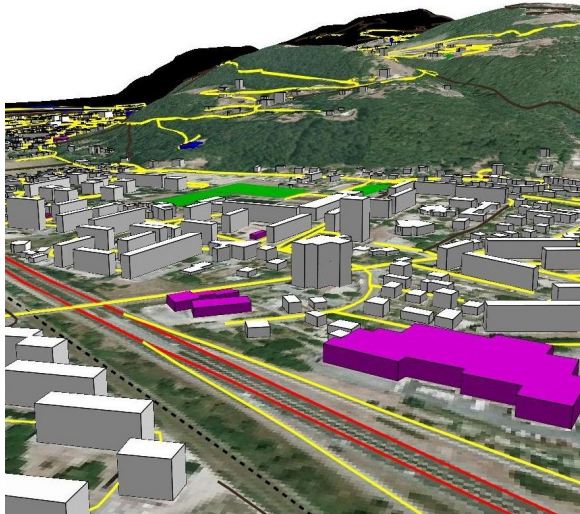
2000





# 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

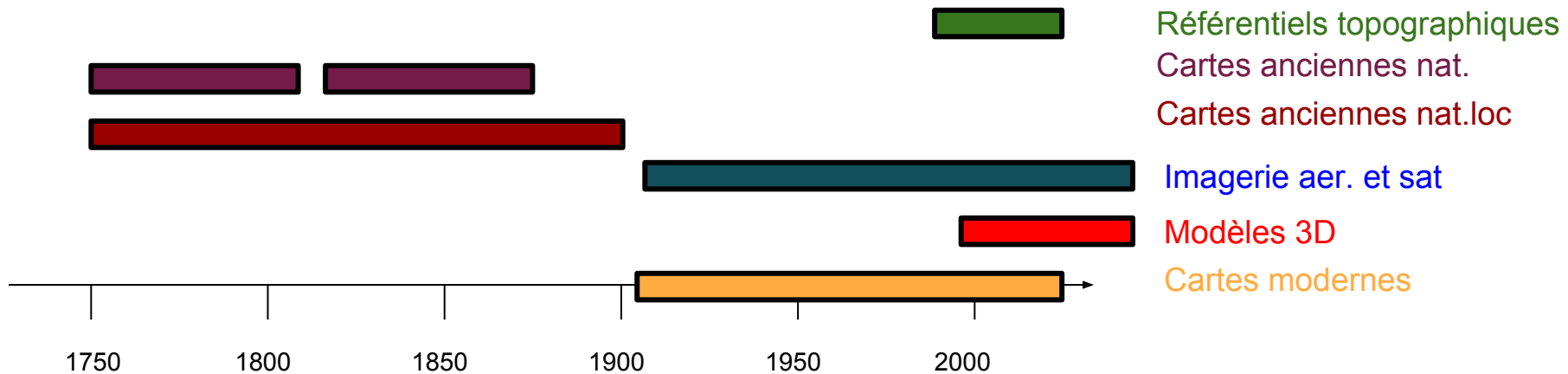
1850

1900

1950

2000

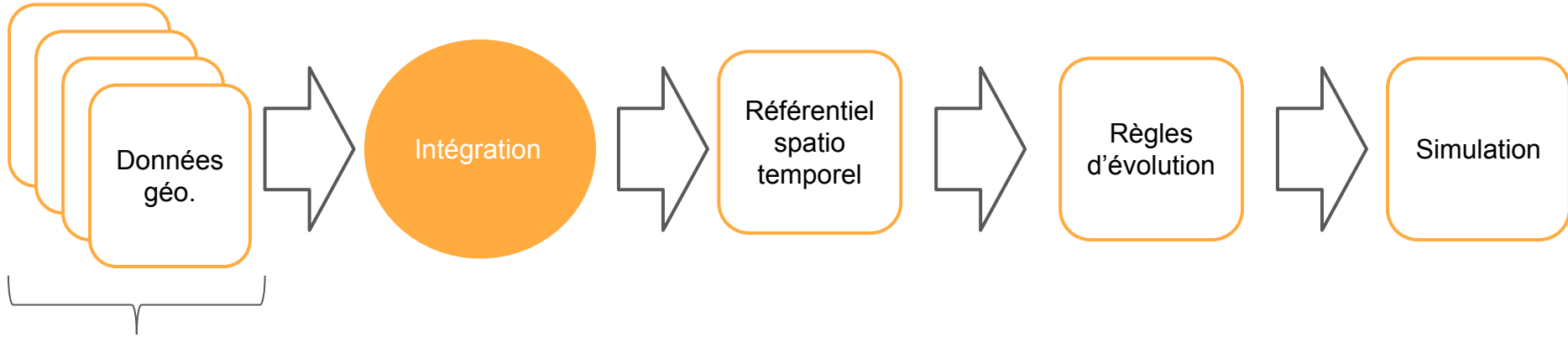




Comment acquérir et intégrer ces données pour comprendre les dynamiques spatiales ?

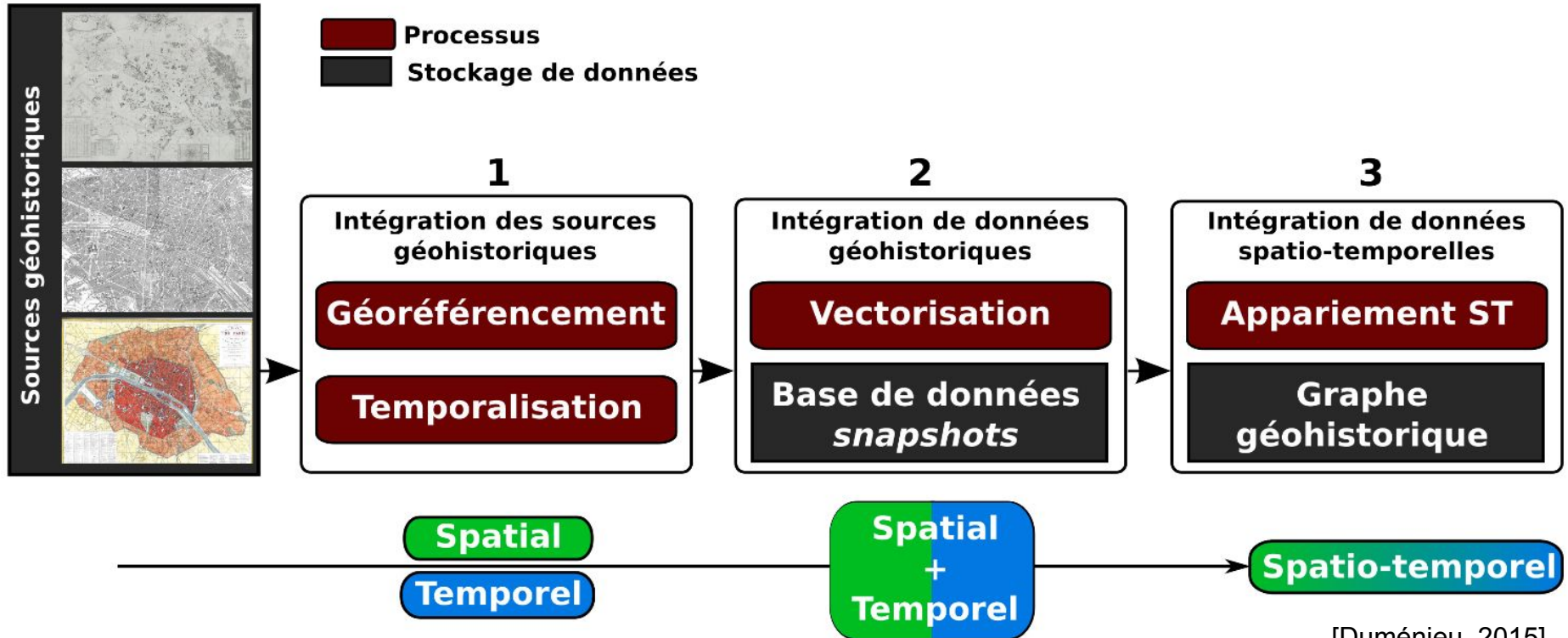
# Plan de la présentation

---



Différentes temporalités

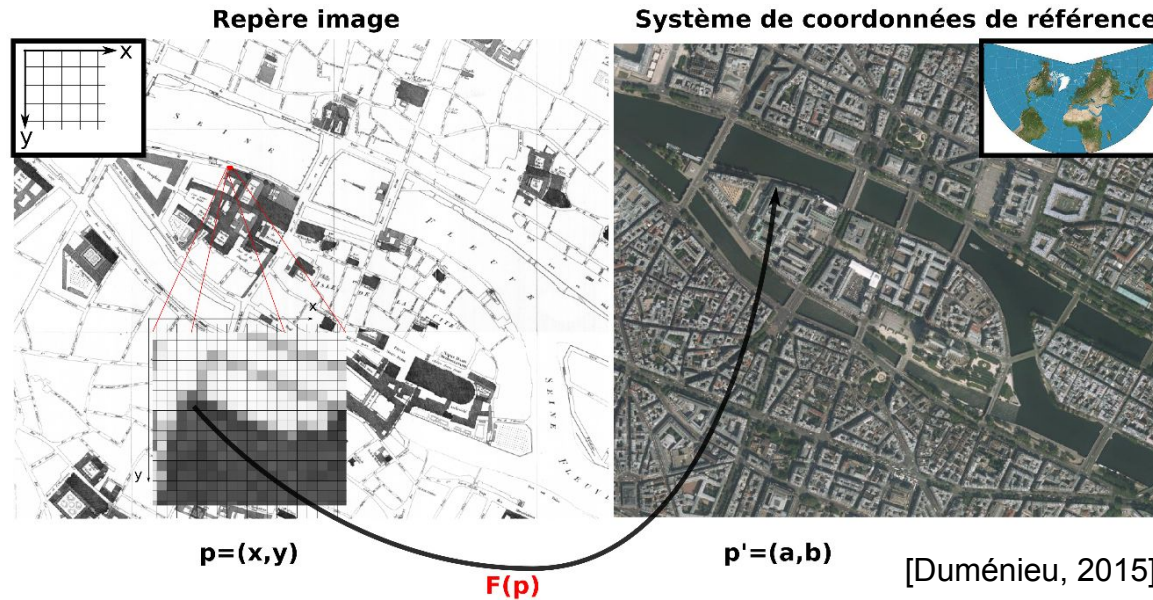
# Processus d'intégration





# 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

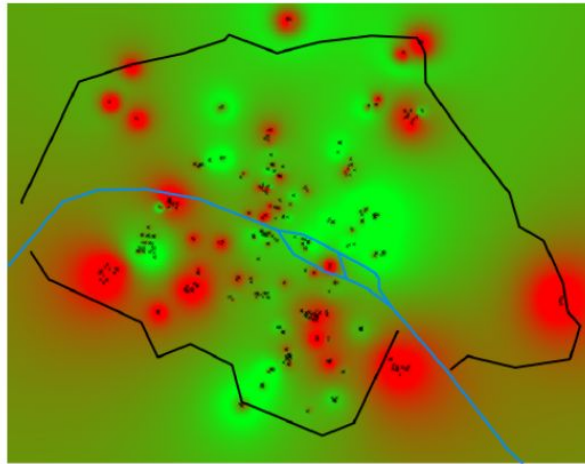


# Géo-référencement

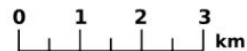
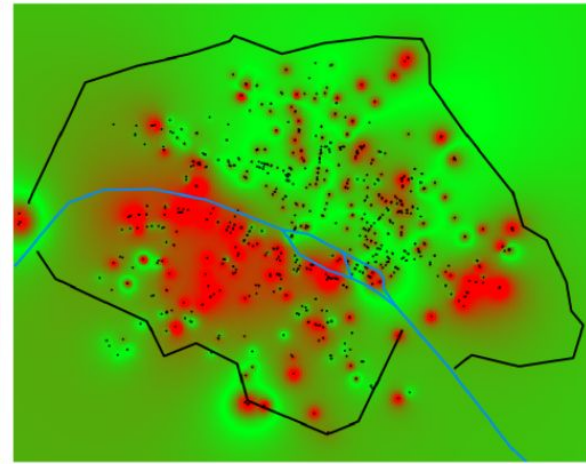
- Cartographie des résidus
  - Modèle d'erreur estimé par rapport à des points de référence

Plan de Verniquet

**Bâtis**



**Rues**



[Duménieu, 2015]

# Acquisition : vectorisation de cartes

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

Atlas de Verniquet



Atlas de Vasserot



Atlas de Jacoubet



Atlas Municipal



[Duménieu, 2015]

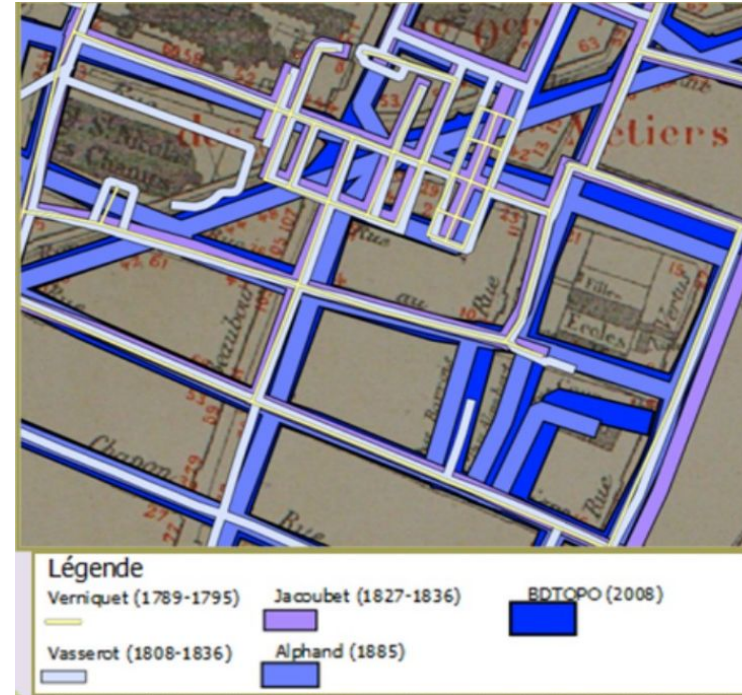
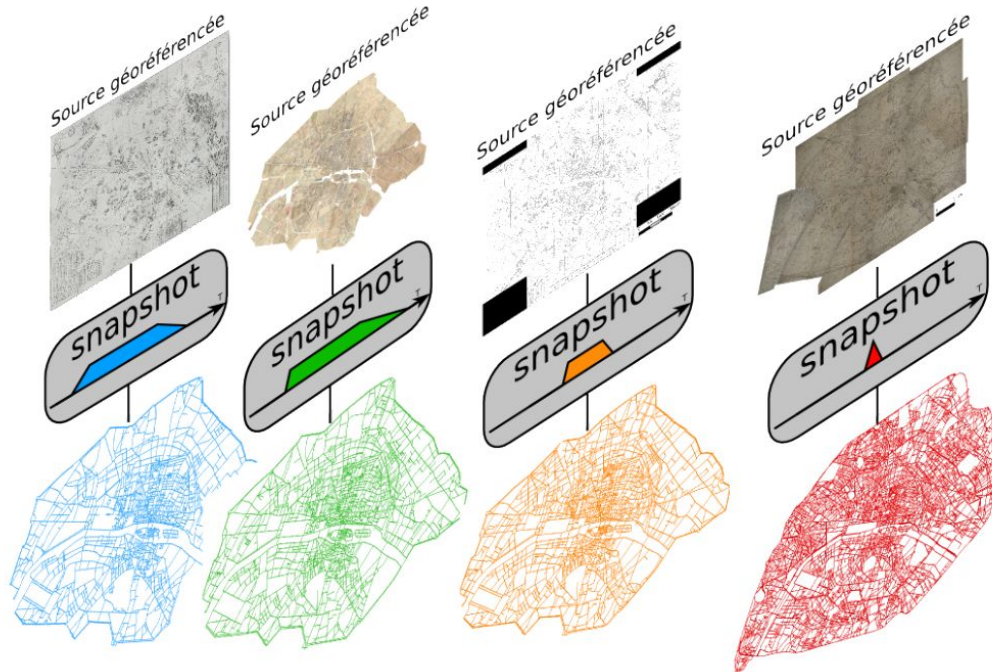


<http://cassini.ehess.fr/>



# Résultat de l'acquisition

- Modélisation sous forme de snapshots





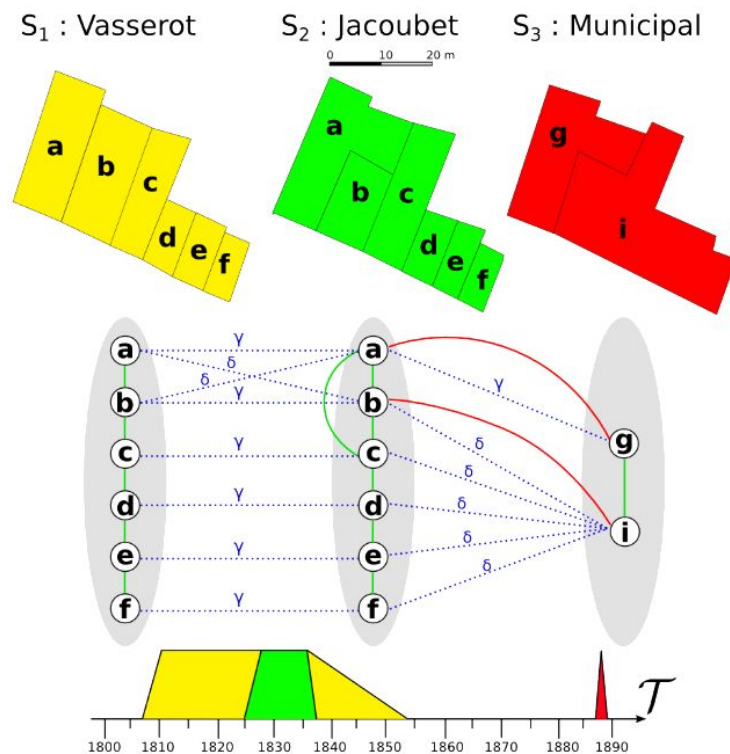
# Appariement spatio-temporel

## - Graphe spatio-temporel :

- Structure permettant le suivi de l'évolution des objets dans le temps

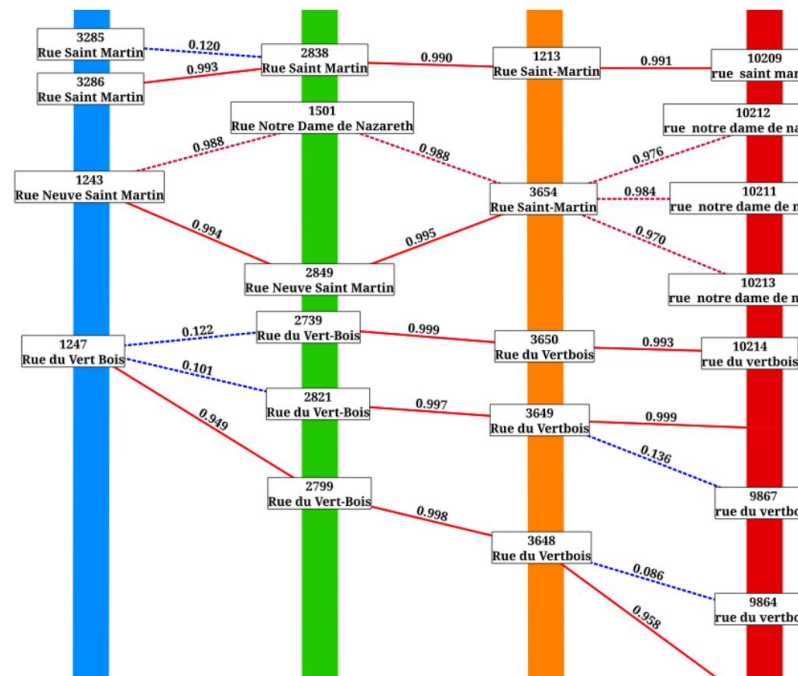
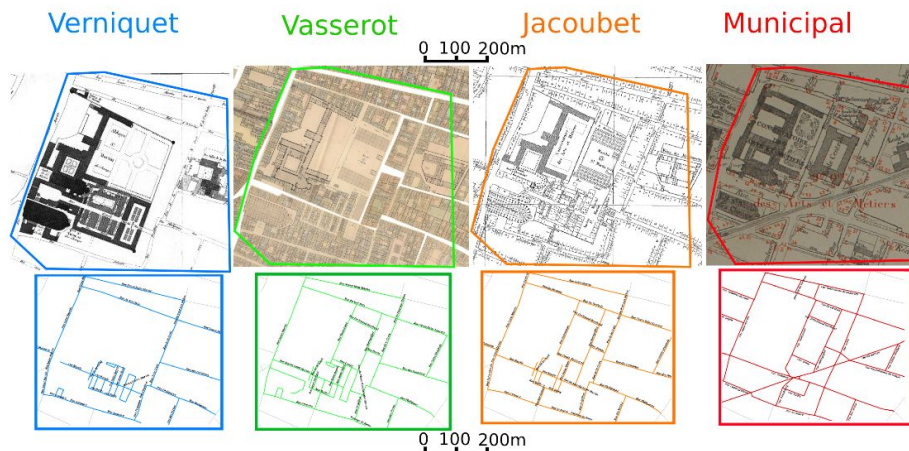
## - Appariement :

- 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]



# Appariement géohistorique

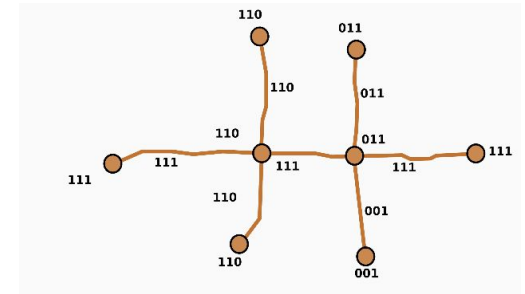
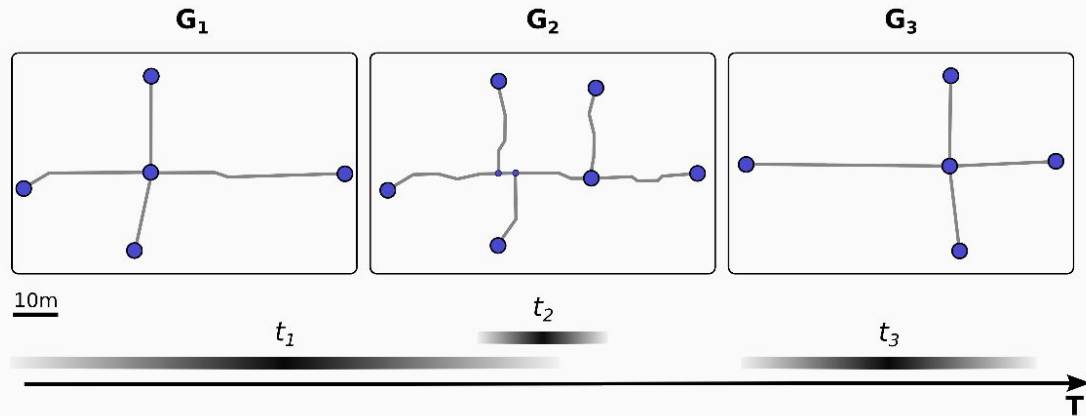
- Recherche du processus de filiation le plus probable possible
  - Théorie de Dempster-Schafer
  - Méthode d'optimisation (recuit simulé)



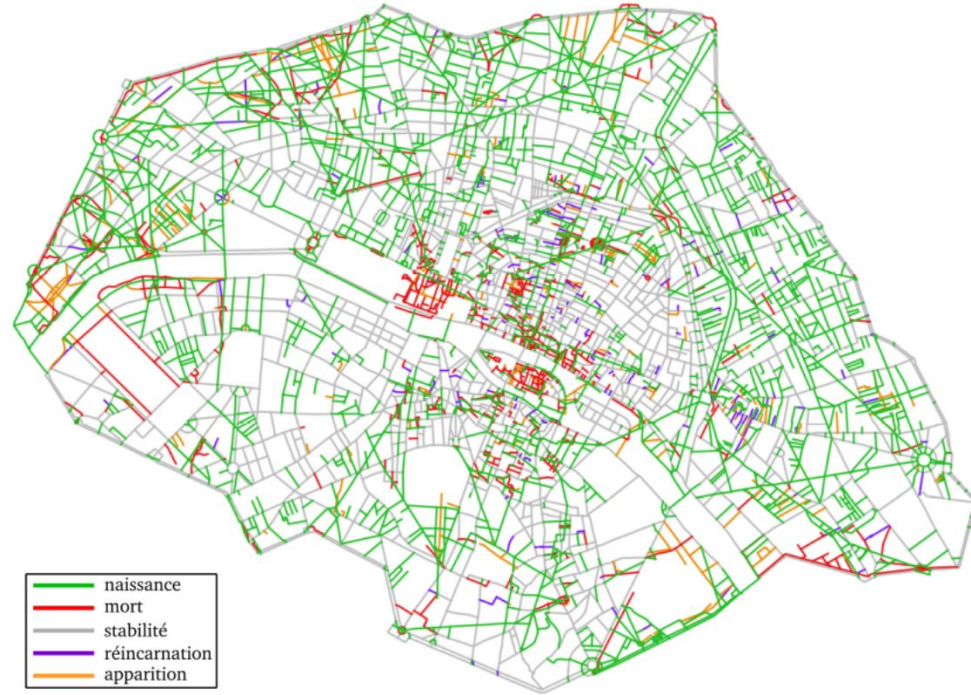
[Duménieu, 2015]

# 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

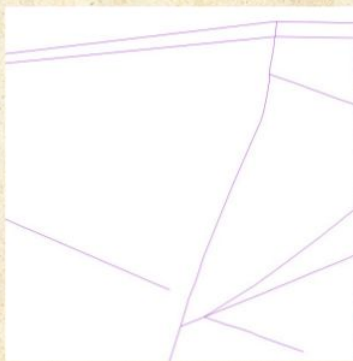
- Rue Hauteville et rue de la Barrière Saint-Denis (apparition)
- Tracé dans le plan de Jacoubet
- Jamais construite avec l'ouverture de la gare du Nord en 1946

Verniquet



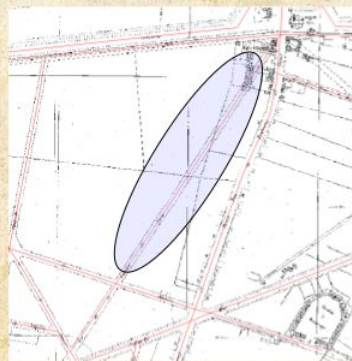
1789

Vasserot



1808-1836

Jacoubet



1827-1839

Andriveau



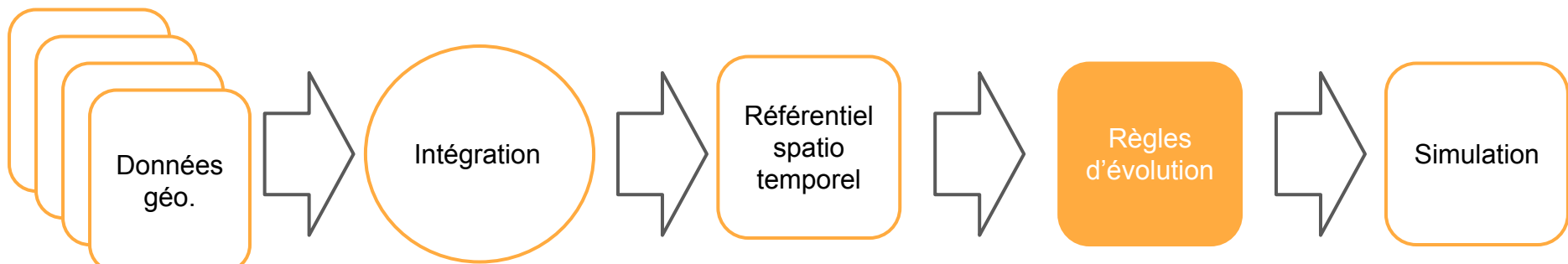
1849



1871

# Plan de la présentation

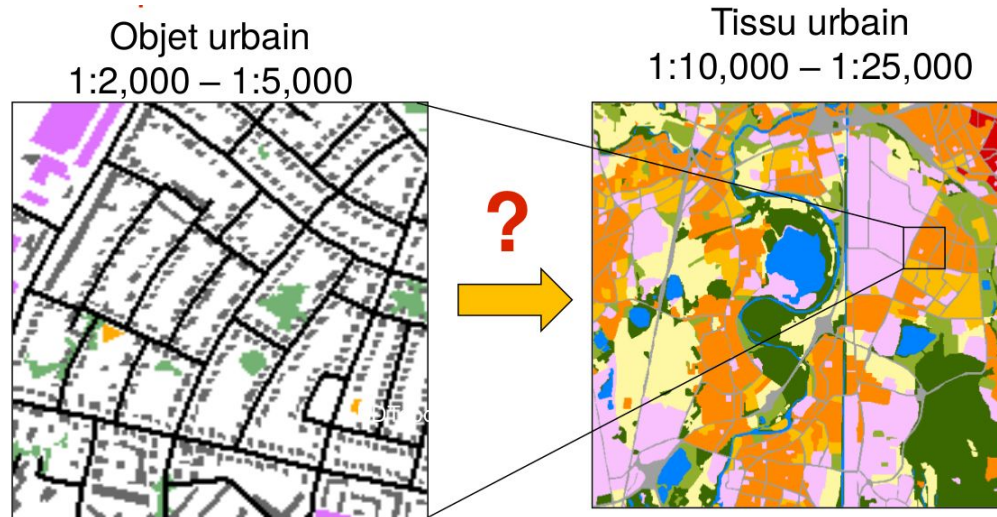
---



Différentes temporalités

# 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



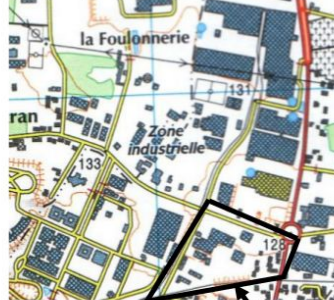
(3) Habitat collectif



(4) Habitat mixte



(6) Emprise spécialisée



(7) Emprise spécialisée peu bâtie

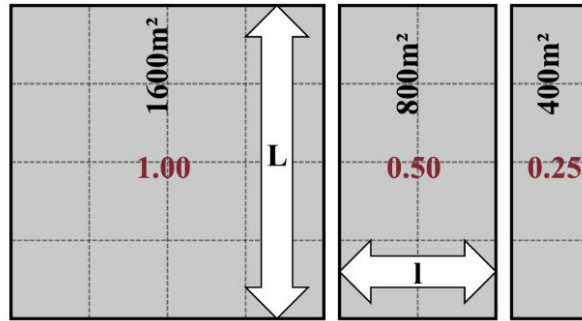


(5) Tissu mixte (activités + habitat)

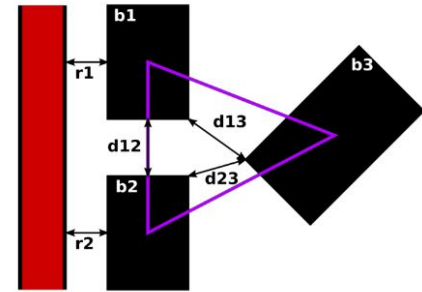
- + (8) réseau ferré / routier
- + (9) hydrographie

# Calcul d'indicateurs morphologiques

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



Surface, élongation, convexité, ...



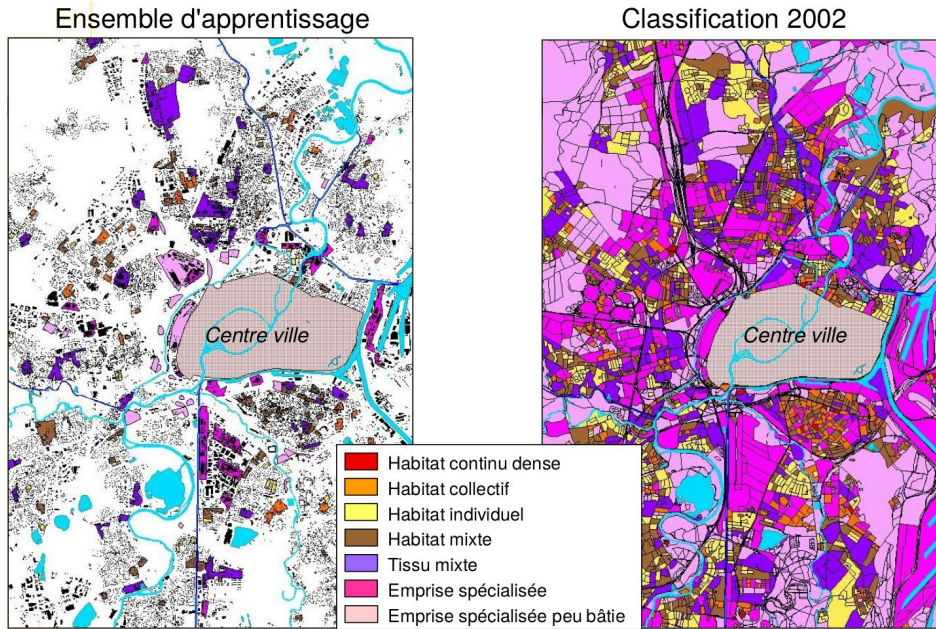
Distance entre bâtiments,  
distance à la route, ....

- 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 classifieur



# 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	Emprise Spécialisée peu bâtie	Tissu Urbain Mixte
Centre Ville	100	0	0	0	0	0	0
Habitat Collectif	0	80	0	20	0	0	0
Habitat Pavillonnaire	0	0	81,7	16,3	0	0	2
Habitat Mixte	0	0	0	97,2	0	0	2,8
Emprise Spécialisée bâtie	0	0	0	0	94,1	0	5,9
Emprise Spécialisée peu bâtie	0	0,5	0,9	0,6	0,5	97,5	0
Tissu Urbain Mixte	0	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 :

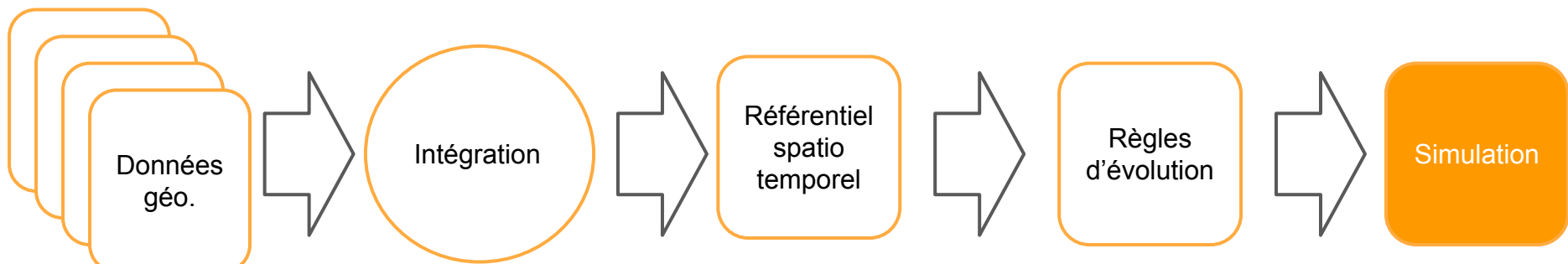
Règles de peuplement

Nom de la méthode	«Barre»	«Grand Ensemble»	«Petit Collectif»
<b>Période</b>	1945-1960	1960-1980	1980-actuel
<b>Distance à la route</b>			
- distribution	normale	normale	normale
- min à max	5 à 15m	5 à 15m	4 à 10m
<b>Distance interbâtimnt</b>			
- distribution	normale	normale	normale
- min à max	0 à 10m	5 à 15m	0 à 10m
<b>Orientation du bât.</b>			
- / à la route	parallèle	parallèle	parallèle
- / aux bâtiments	parallèle	parallèle	parallèle
<b>Type de bâtiment 1 :</b>			
- 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>
- élongation	non renseigné	non renseigné	non renseigné
- épaisseur	10m	non renseigné	10m
- fréquence	100%	15%	95%
<b>Type de bâtiment 2 :</b>			
- forme		rectangle, L	escalier
- aire			
- distribution		normale	normale
- min à max		600 à 1400m <sup>2</sup>	1500 à 2500m <sup>2</sup>
- élongation		non renseigné	0.6
- épaisseur		10m	non renseigné
- fréquence		85%	5%



# Plan de la présentation

---



Différentes temporalités

# Simulation multi-échelle

---

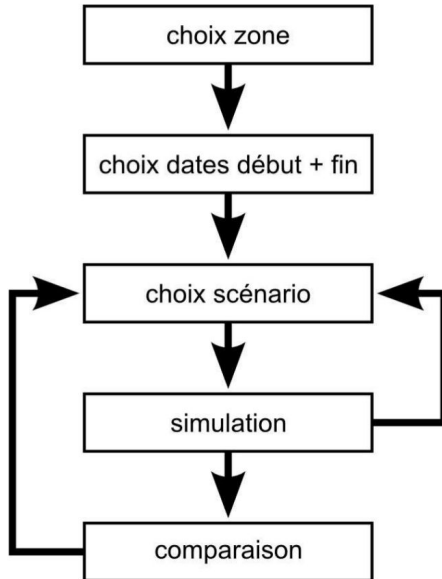
- Objectifs de la simulation :

- 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 :

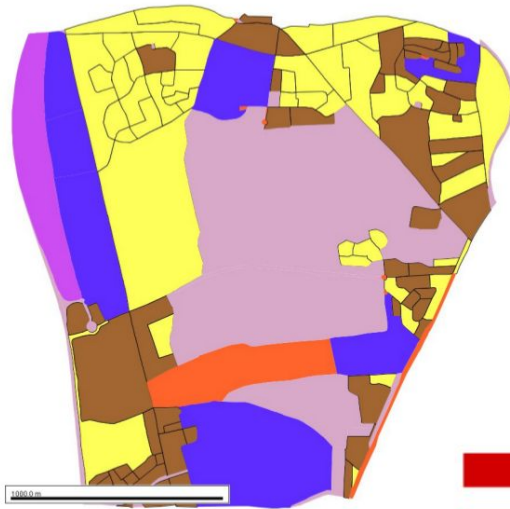
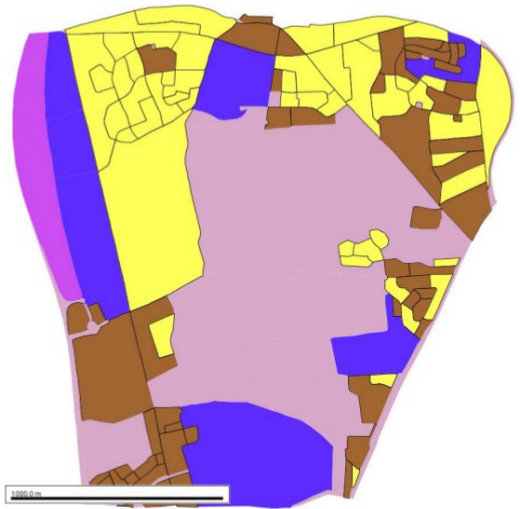
- Hypothèses de simulation
- Règles d'évolution

# Processus de simulation - Évolution des types de tissus

Situation initiale (2002)

→

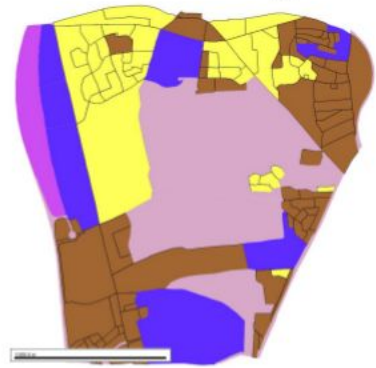
Classe objectif (2008)



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

# Processus de simulation - Évolution des types de tissus

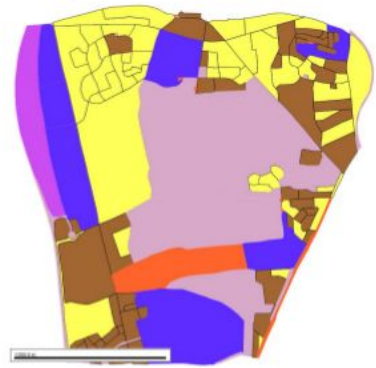
Voisinage



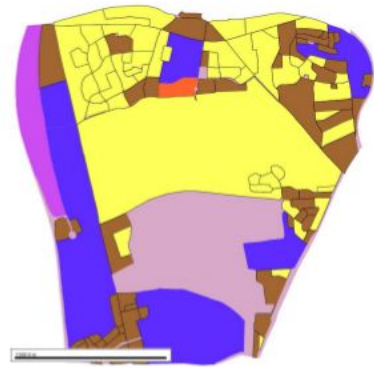
Historique



Historique par zone



Situation finale réelle



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

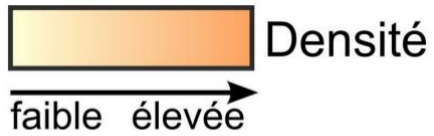
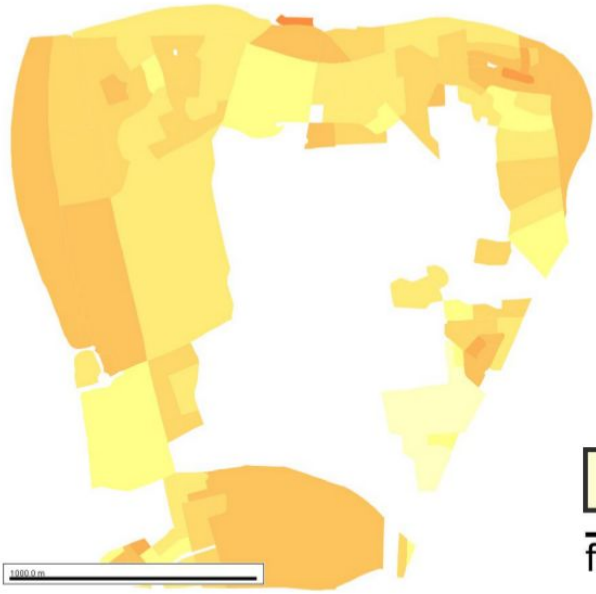
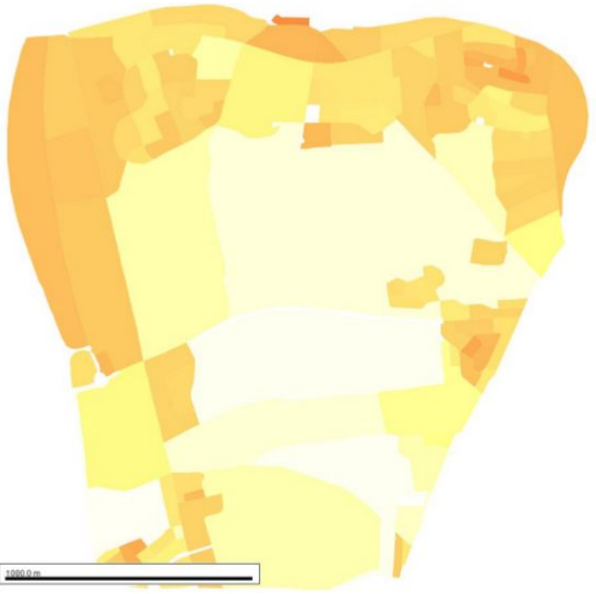


# Processus de simulation - Évolution de la densité

Situation initiale (2002)

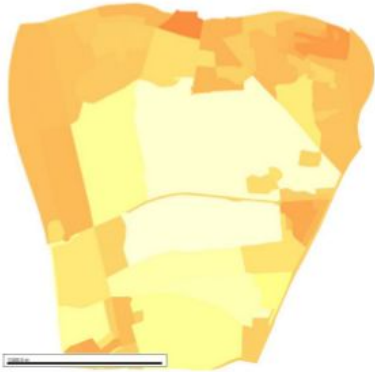
→

Densité objectif (2008)

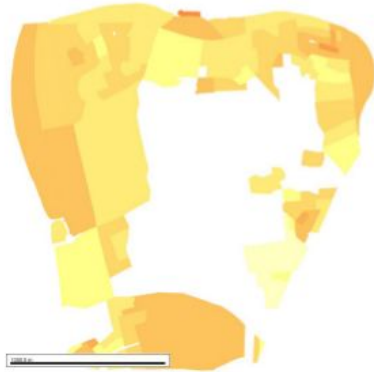


# Processus de simulation - Évolution de la densité

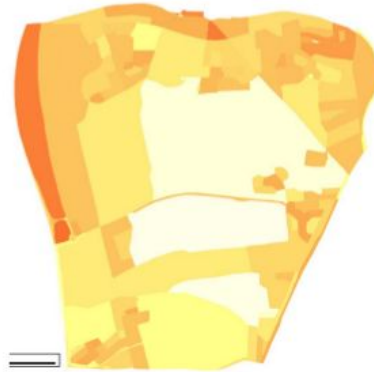
Voisinage



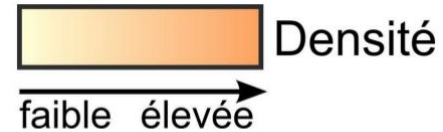
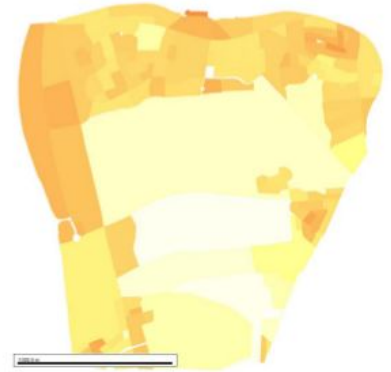
Historique



Historique  
par zone

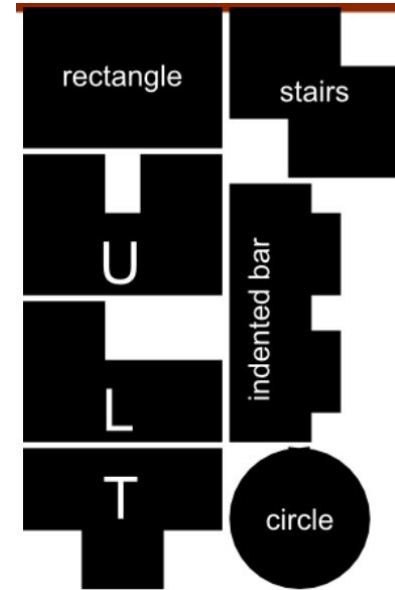
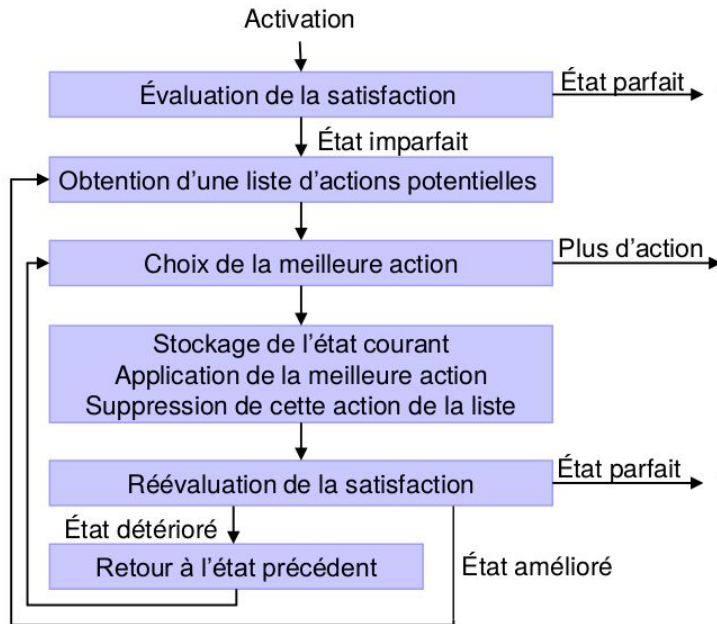


Situation finale  
réelle



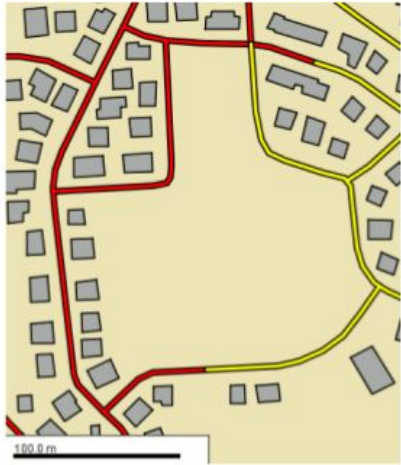
# Densification

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



# Résultats

## - Simulation d'habitats individuels



1976



1989



Simulation

- ✓ Organisation
- ✗ Création de routes



# Résultats

## - Simulation d'habitats collectifs



initial

1989

Simulation

- ✓ Taille
- ✓ Élongation
- ✓ Organisation
- ✗ Accès à la route

# 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 Terres) :

Le gabarit-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 gabarit-enveloppe défini en limite séparative par l'article UG.10.3.2.

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

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

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

Il se compose successivement :

- d'une verticale comprise entre le sol et la cote rattachée au nivellement orthométrique indiquée sur les planches d'ilot ;
- 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 s'il affecte un couronnement de pente nulle ; dans ce dernier cas, sa profondeur n'est pas limitée ;
- 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 (filet ou rectangle), limité par une horizontale située à une hauteur h au-dessus du sommet de la verticale :

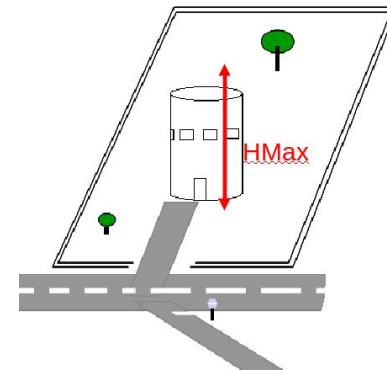
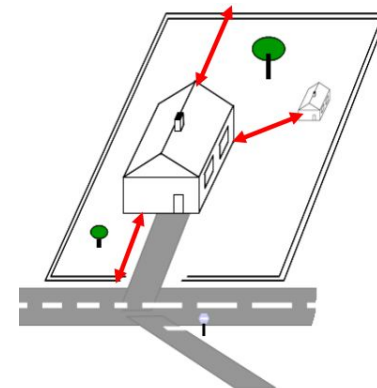
1- P = 0	h = 0	symbole brun
2- 0° < P ≤ 30°	h = 2,50 mètres	rectangle rose
3- 30° < P ≤ 45°	h = 5 mètres	rectangle vert
4- 45° < P ≤ 70° ; P prolongée par une pente P' telle que 0° < P' ≤ 15°	h = 4 mètres	filet bleu

**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 :

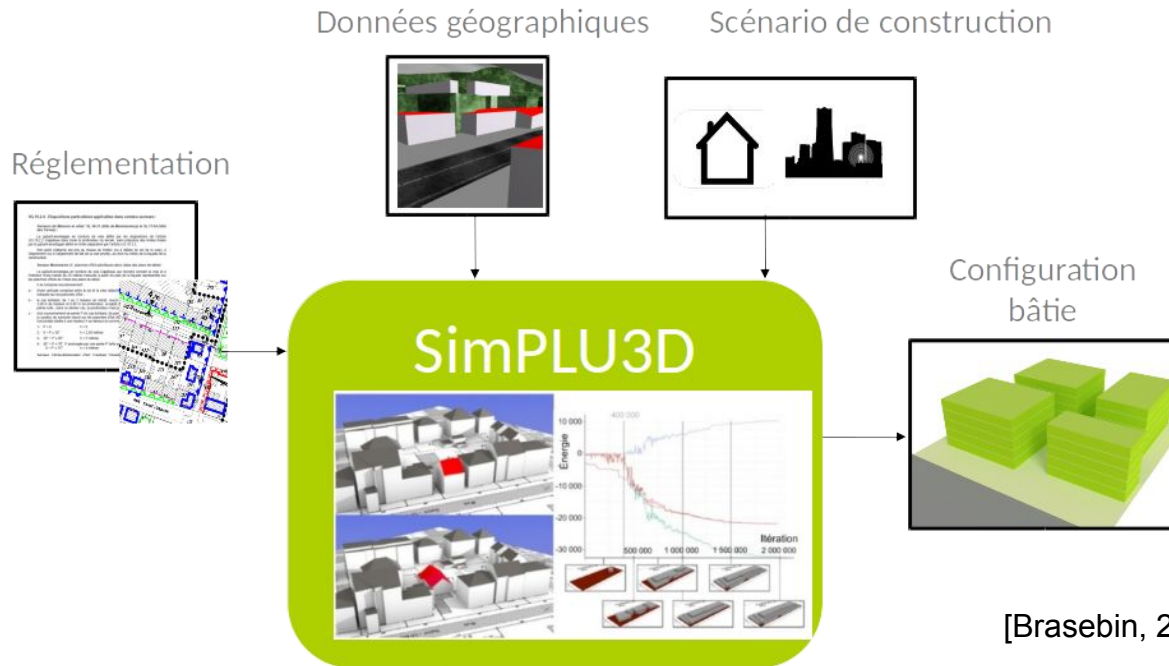
- Sur l'avenue de la Porte de Clichy, hors du sous-secteur Berthier Nord et sur les tronçons de voies à créer situées en ZAC qui bordent un espace vert public ou dont la largeur est supérieure ou égale à 20 mètres, le gabarit-enveloppe est constitué d'une verticale limitée par une horizontale située à la hauteur plafond fixée par le Plan général des hauteurs.
- Sur la rue Cardinet et les tronçons de voies à créer situées en ZAC ne bordant pas d'espace vert public et dont la largeur est comprise entre 12 et 20 mètres, le gabarit-enveloppe est constitué d'une verticale limitée par une horizontale fixée à 23 mètres de hauteur.
- Sur les tronçons de voies à créer situées en ZAC ne bordant pas d'espace vert public et dont la largeur est inférieure ou égale à 12 mètres, le gabarit-enveloppe est constitué d'une verticale limitée par une horizontale fixée à 23 mètres de hauteur.

Règlement du PLU - tome 1 - Zone UO  
- page 51 -



# Simulation de la constructibilité

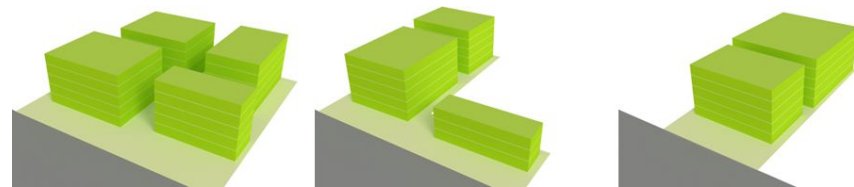
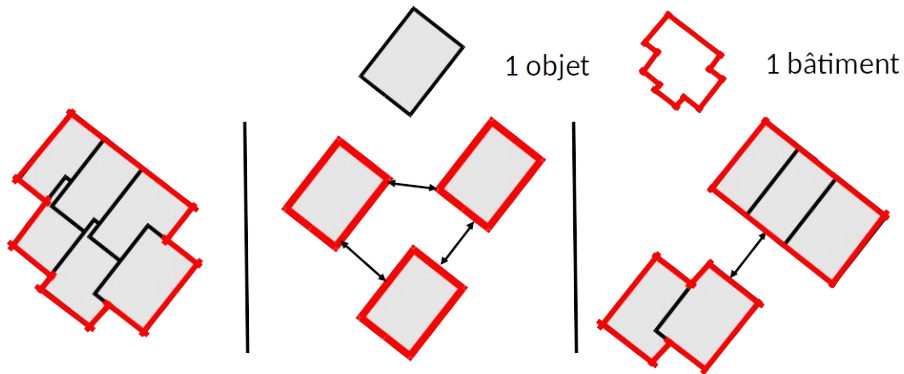
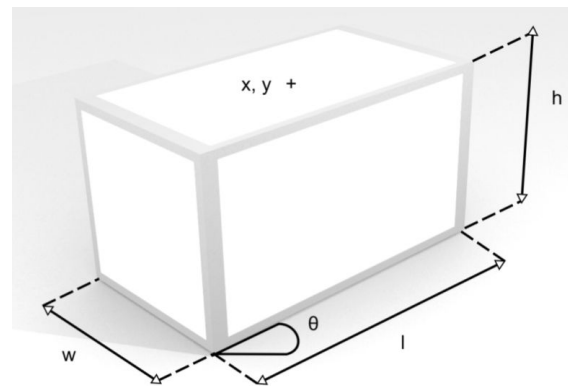
- **Proposition** : SimPLU3D - simulateur de configurations bâties à l'échelle de la parcelle



[Brasebin, 2014]

# 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





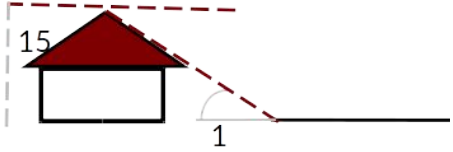
# Définition d'une simulation

- Règles :

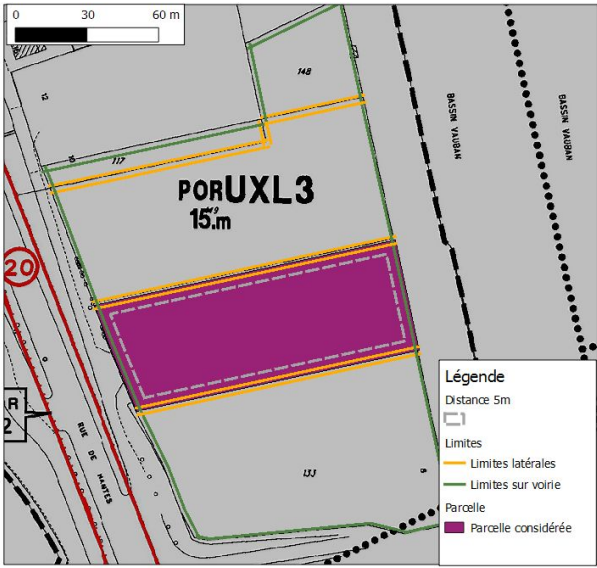
- Limitation emprise bâtie



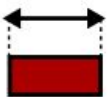
75% - Limitation de la hauteur



- Limitation de l'implantation



- Scénario :



5 - 30 m



0 - 180°

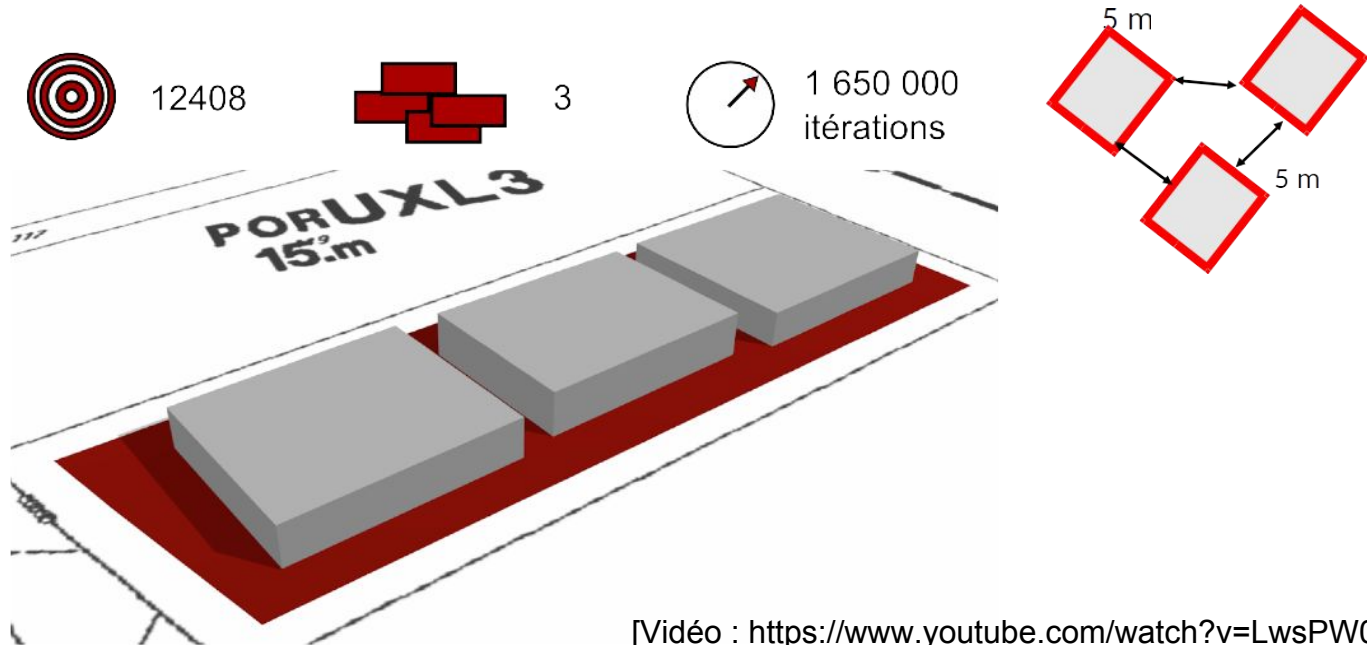


3 - 15 m



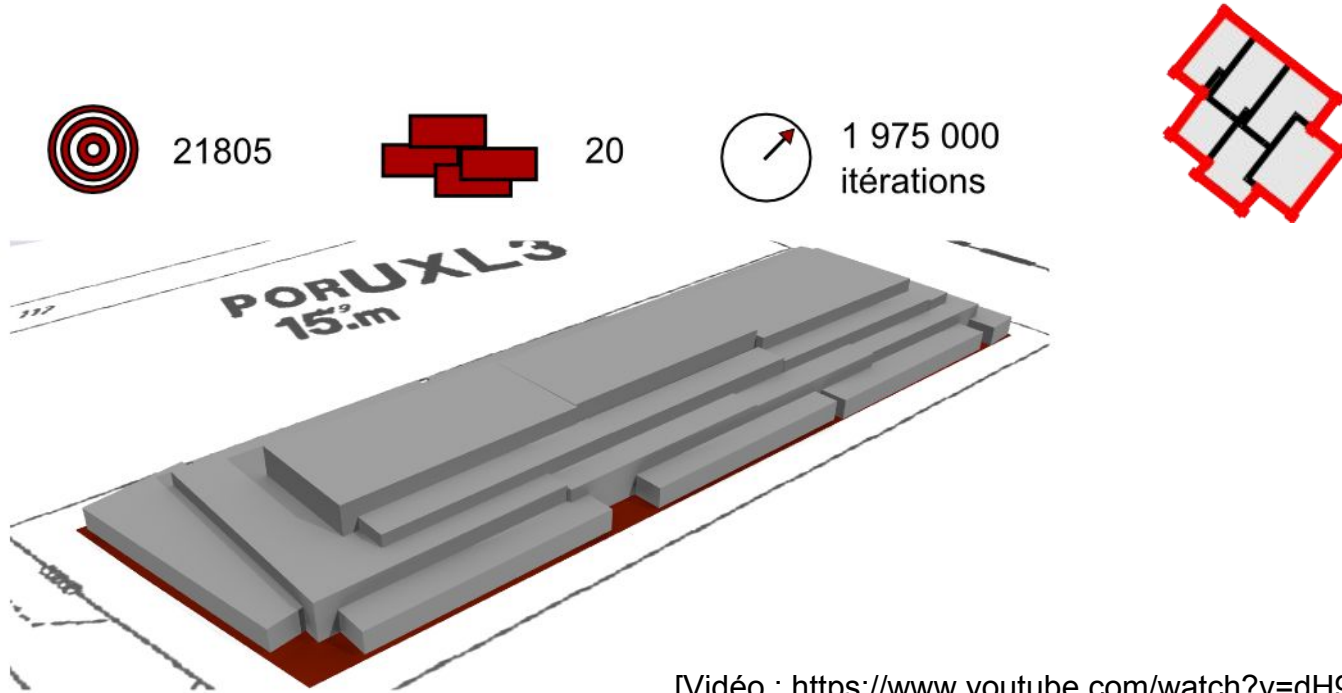
Volume

# Simulation de plusieurs bâtiments



[Vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=LwsPW0rcB44>]

# Simulation d'un bâtiment complexe



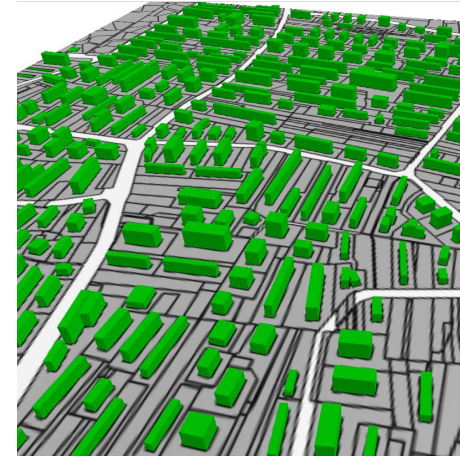
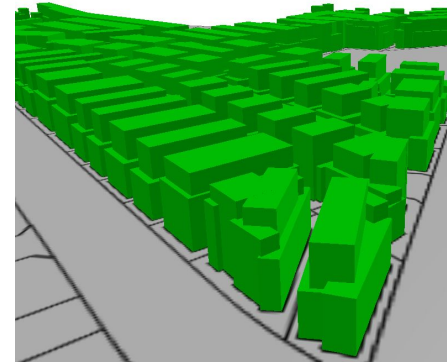
[Vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=dH9woKexsVw>]

# 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)

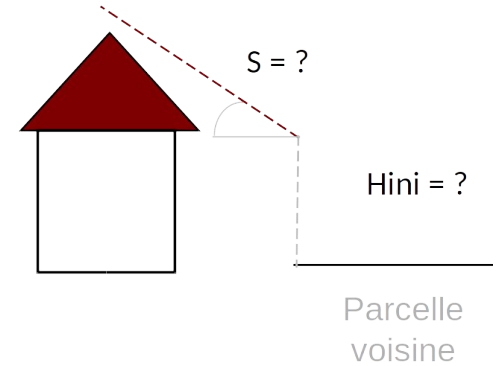
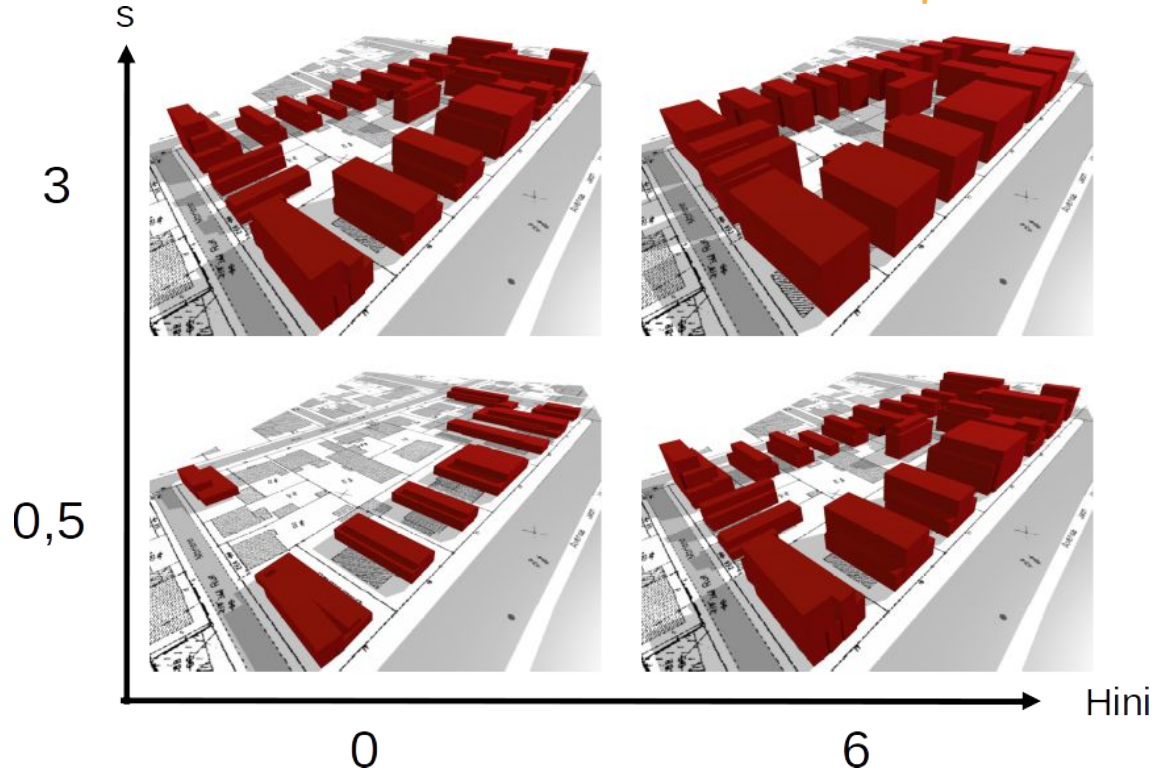


Sources cartographiques : BD Topo, IGN, Majic 2013, DGFP, BD constructibilité, CDC, DRIEA, EPFF, IAU IdF, ORF. © ORF  
Traitement cartographique : IAU IdF © ORF • Mise en forme & fonds cartographiques : IAU IdF



# Étude de différents scénarios

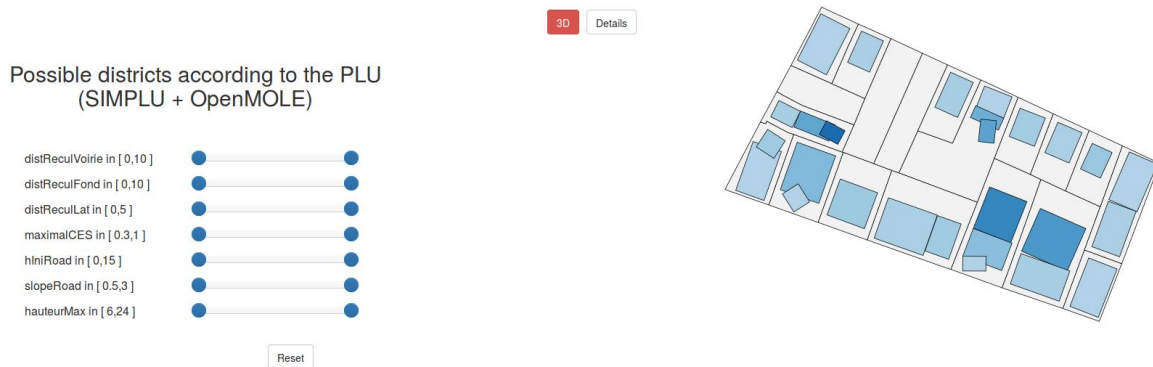
- Quelle est l'influence de la modification de paramètres ?





# 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



<https://simplu.openmole.org/>

[Brasebin, 2017]

# 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. Leclair, 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.