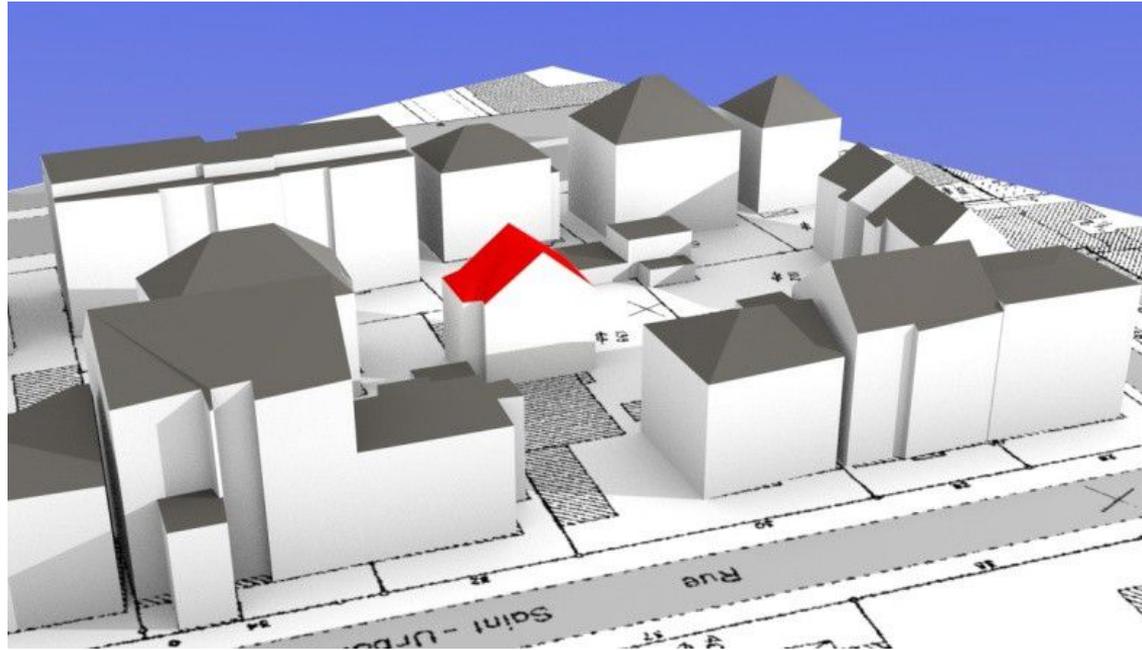


Usages des données topographiques multi-dimensionnelles pour la simulation des évolutions

Travaux de l'axe de recherche sur les dynamiques spatiales



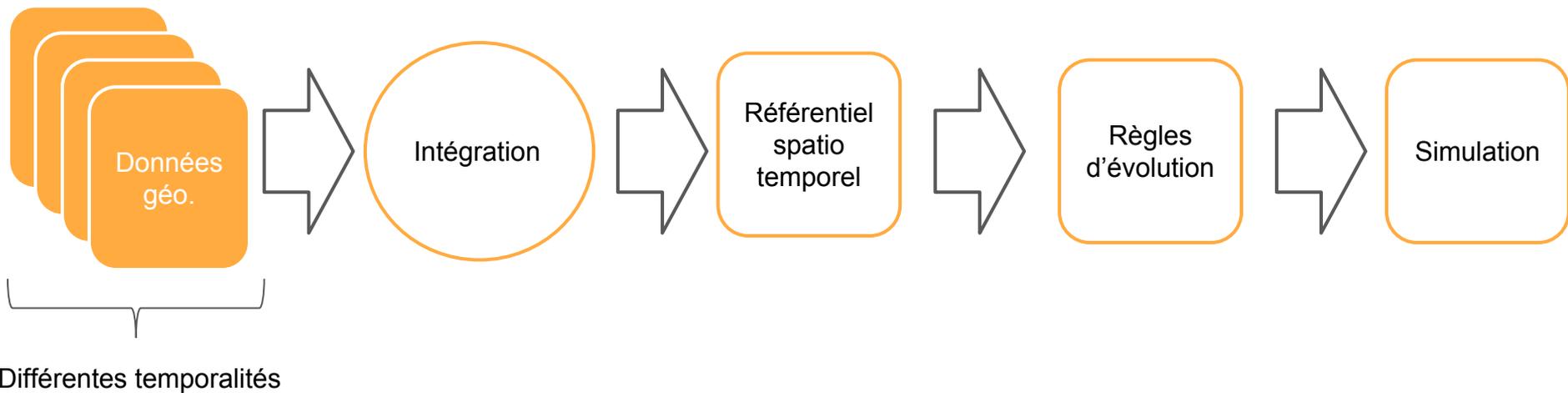
Mickaël Brasebin

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

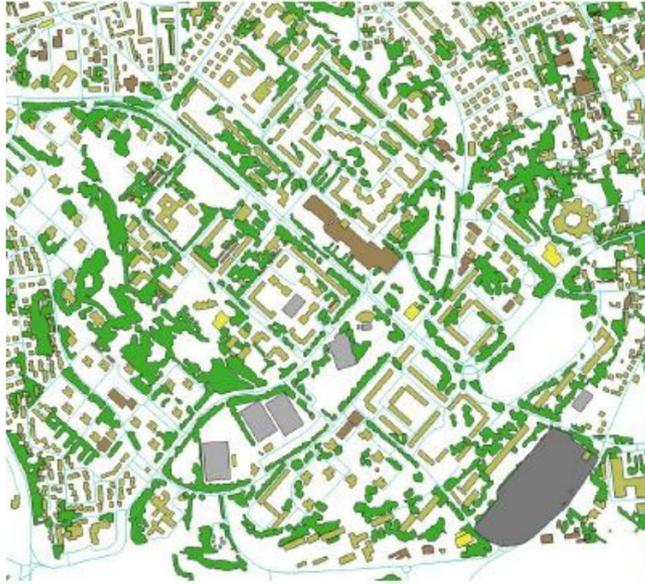
Plan de la présentation



Données géographiques : référentiels topographiques

Référentiel grande échelle

1999



2016



[Chamberland, 2017]

Avantages

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

Inconvénients

- Changements de spécification
- Données récentes

1750

1800

1850

1900

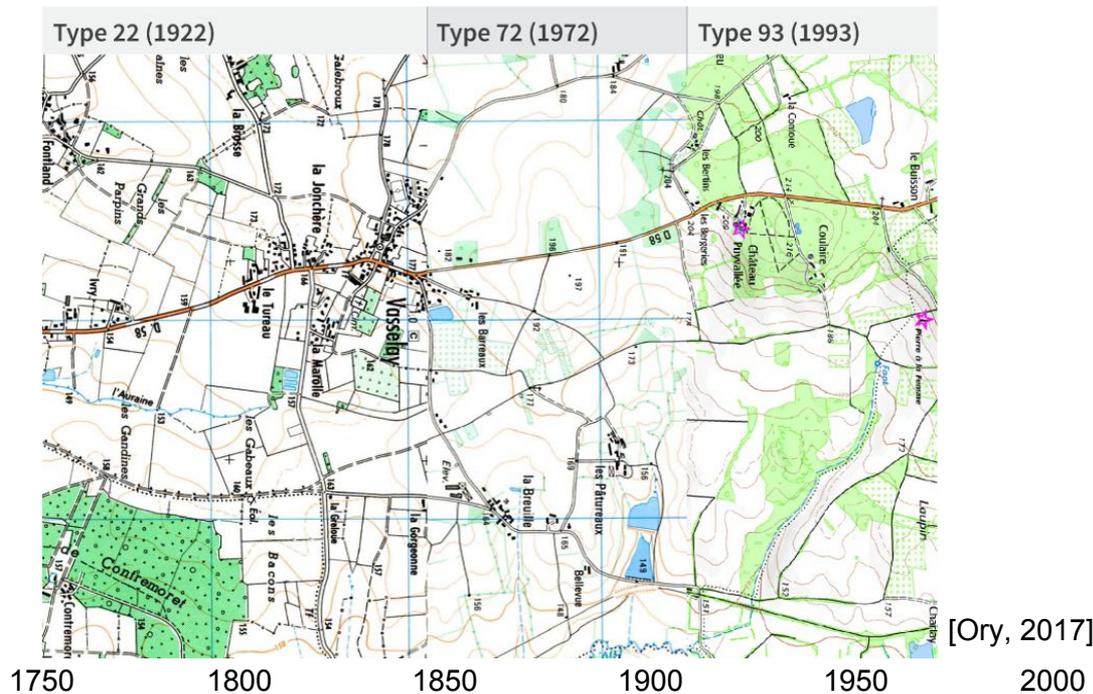
1950

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)

[Ory, 2017]

Données géographiques : cartes topographiques

Cartes anciennes : couverture nationale

Cartes de Cassini (1750 - 1818)

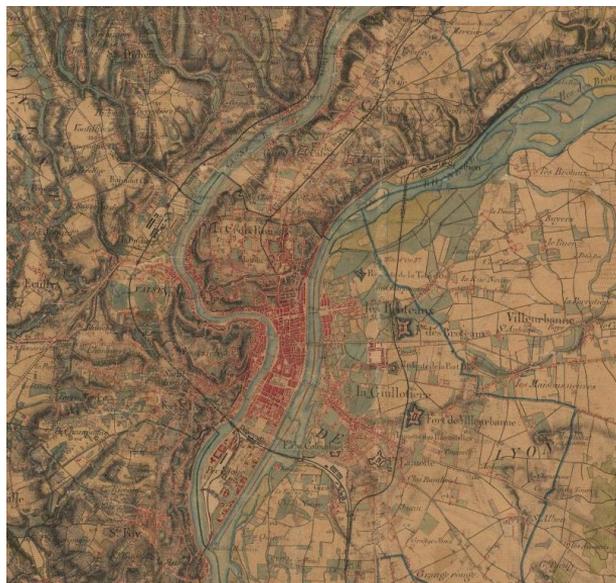


1750

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

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

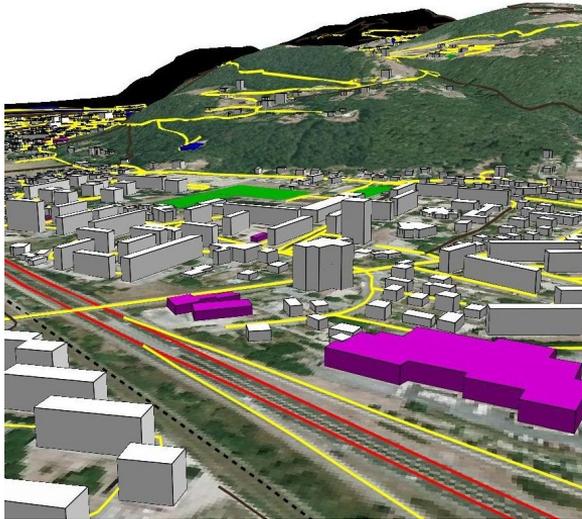
1950

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

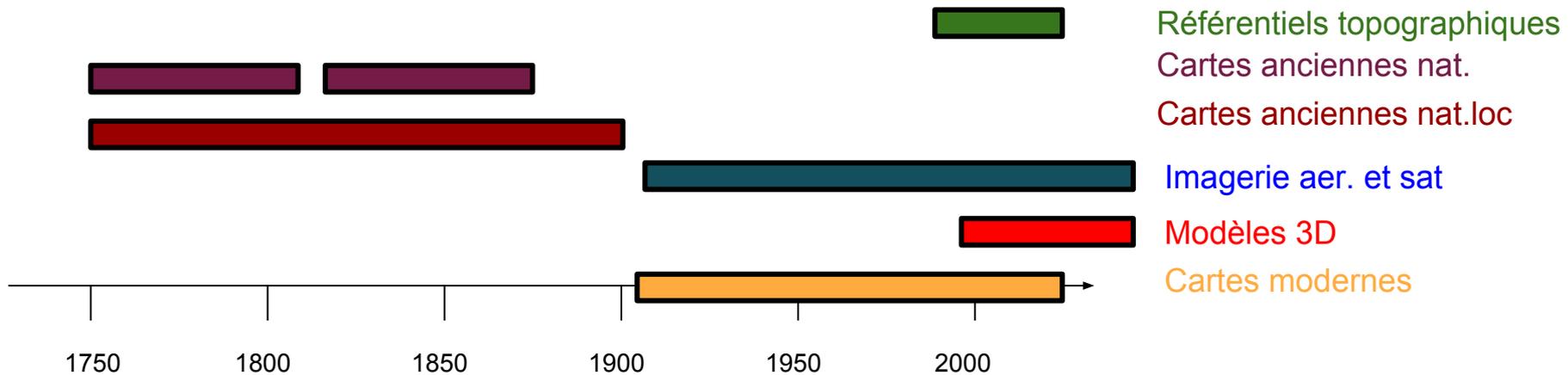
1850

1900

1950

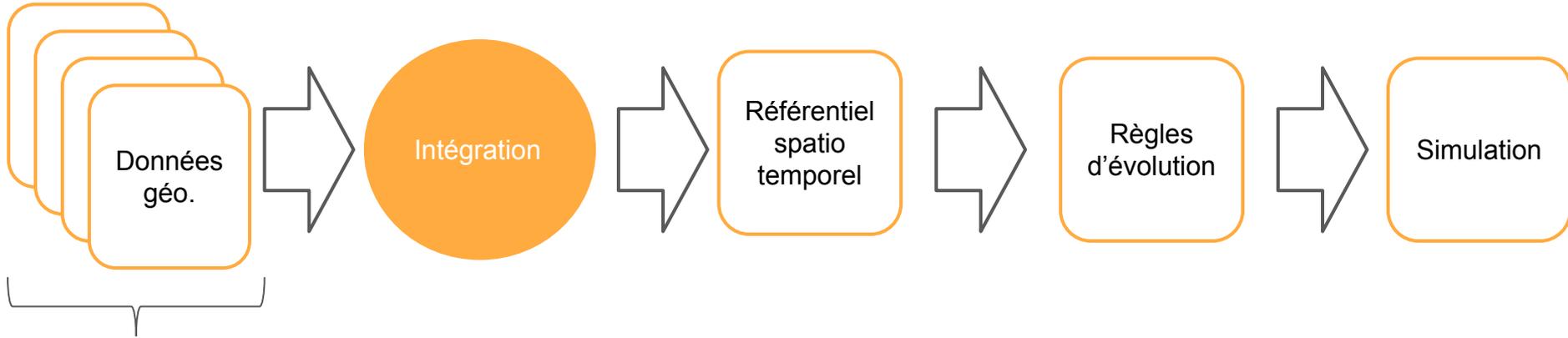
2000





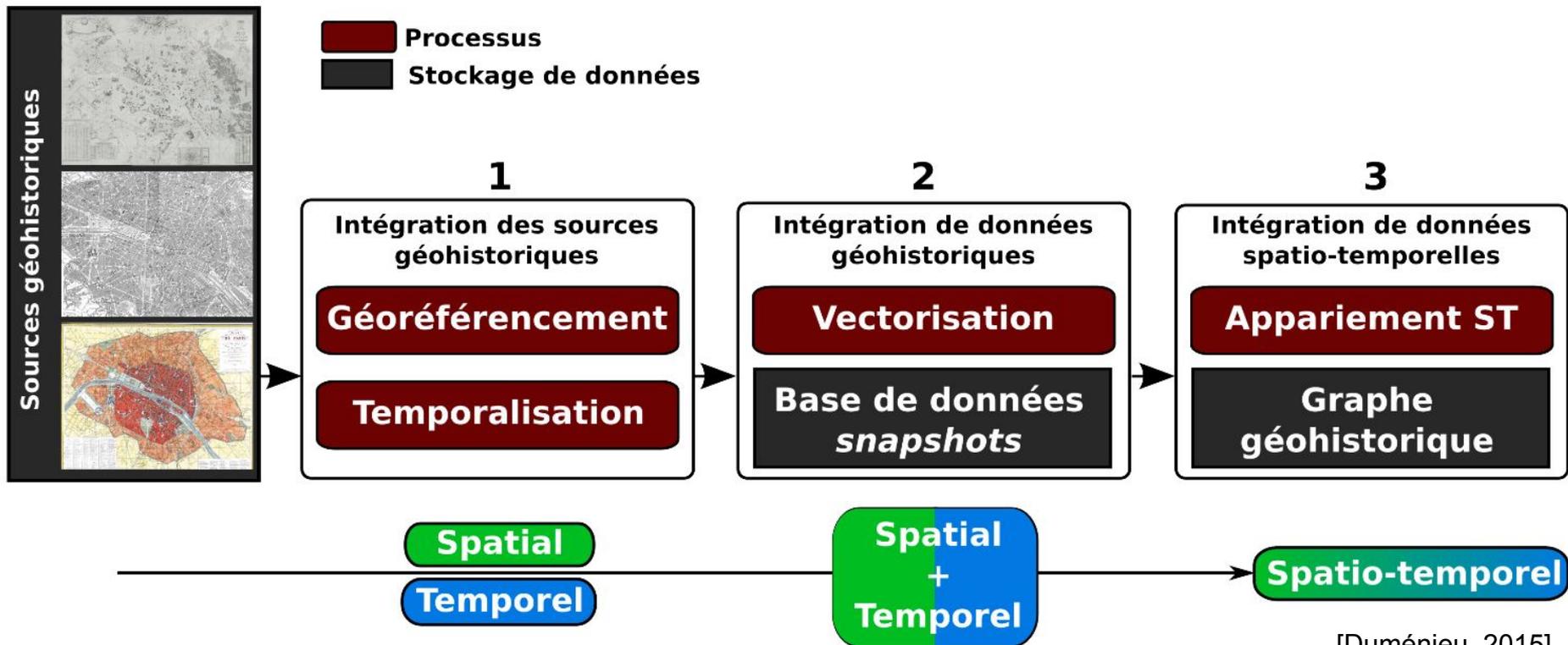
Comment acquérir et intégrer ces données pour comprendre les dynamiques spatiales ?

Plan de la présentation



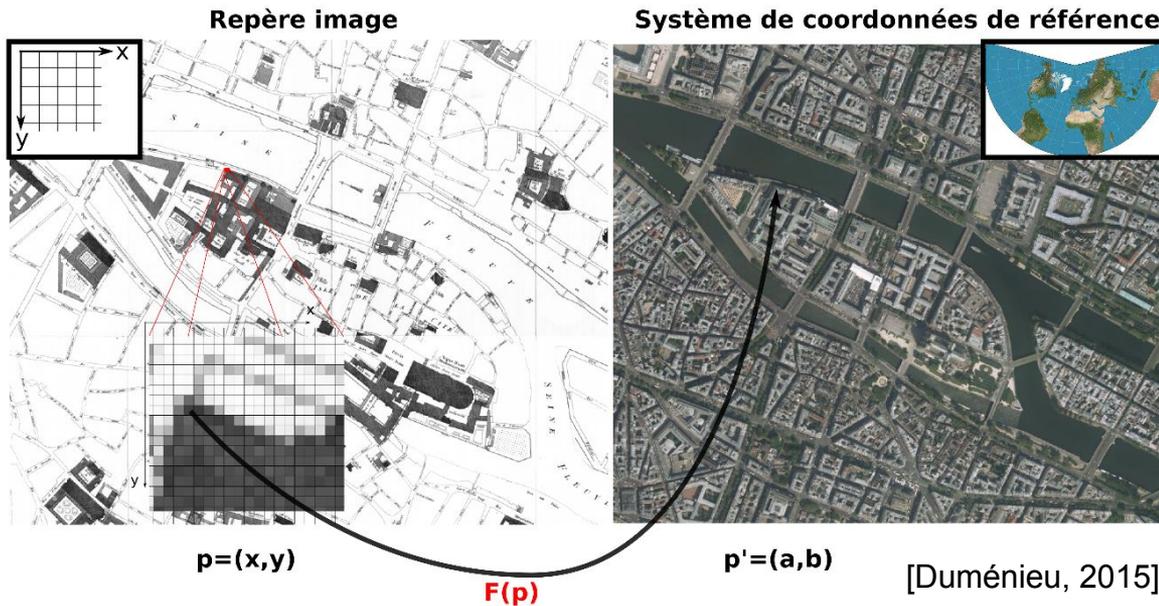
Différentes temporalités

Processus d'intégration



Géo-référencement

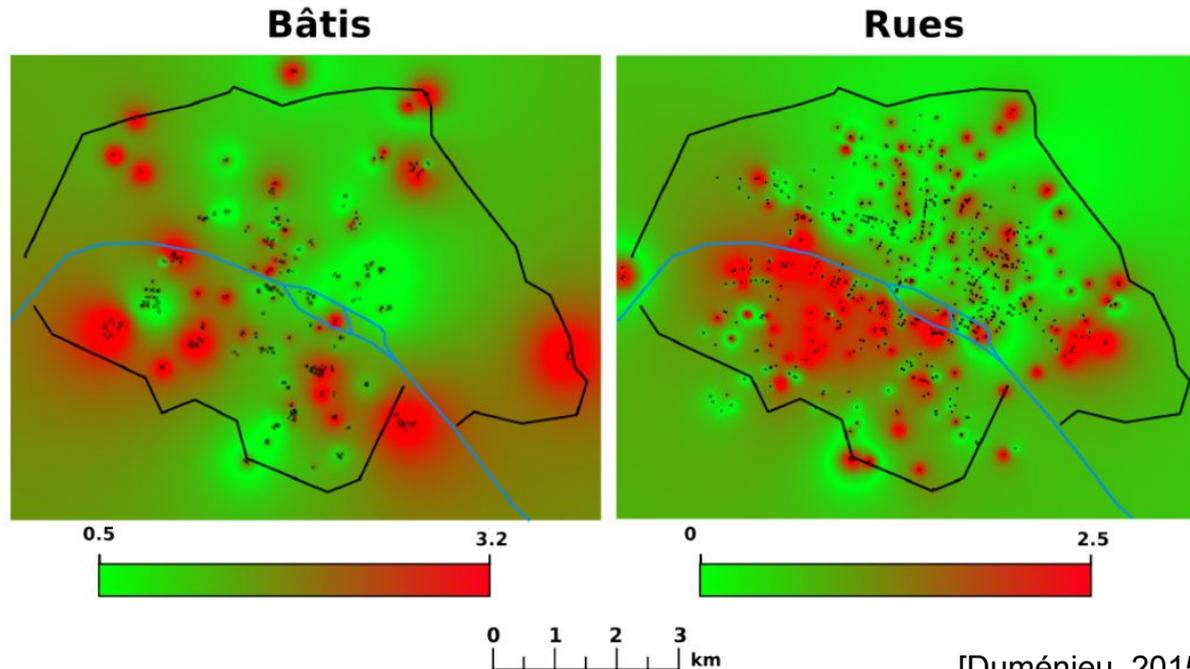
- **Principe** : affecter à chaque pixel d'une image des coordonnées géographiques
- **Méthode** :
 - Utilisation de points de correspondance (points d'amer)
 - Fonctions mathématiques ou statistiques



Géo-référencement

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

Plan de Verniquet

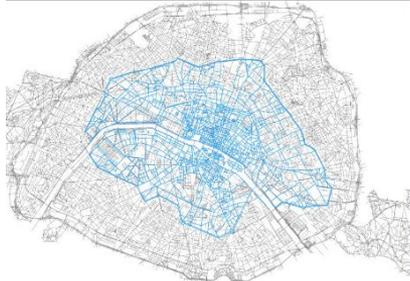


[Duménieu, 2015]

Acquisition : vectorisation de cartes

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

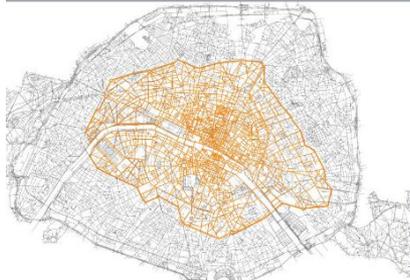
Atlas de Verniquet



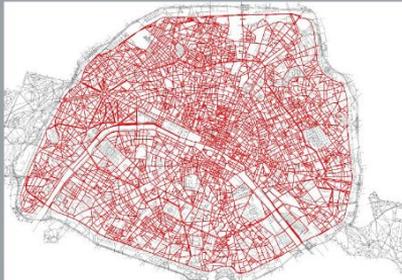
Atlas de Vasserot



Atlas de Jacoubet



Atlas Municipal



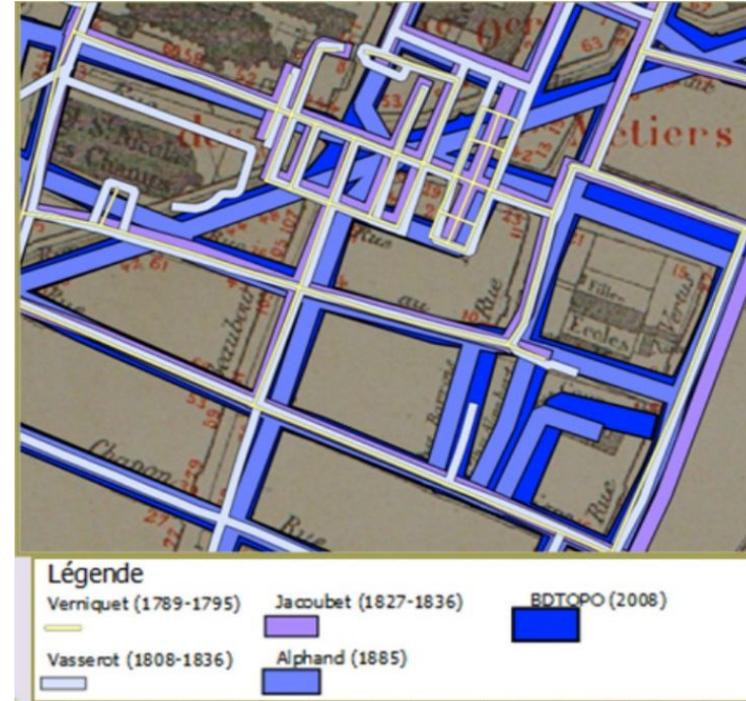
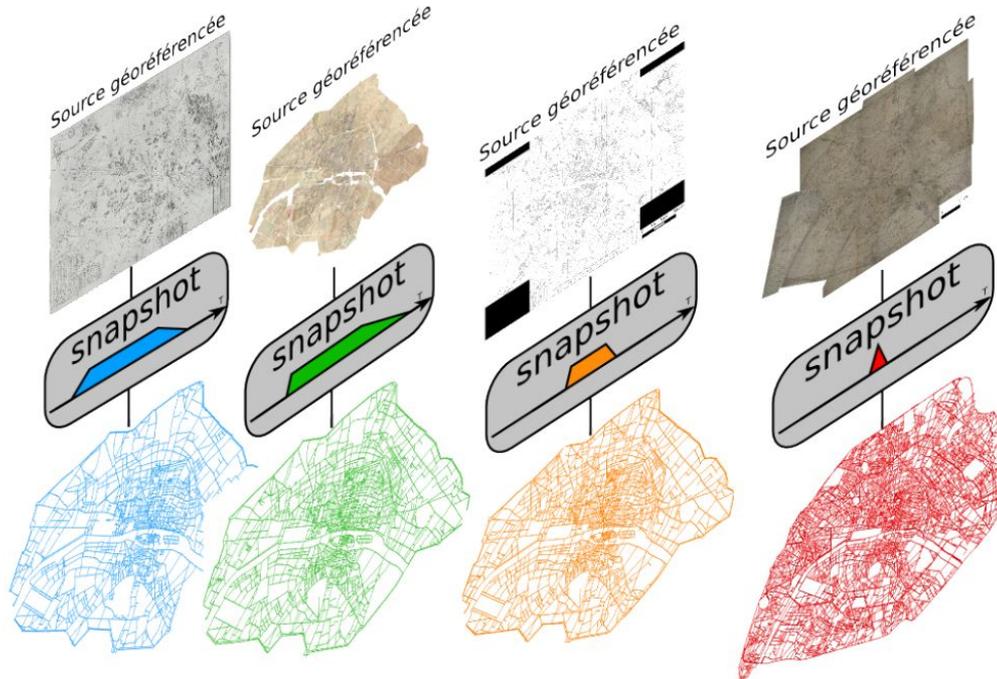
[Duménieu, 2015]



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

Résultat de l'acquisition

- Modélisation sous forme de snapshots



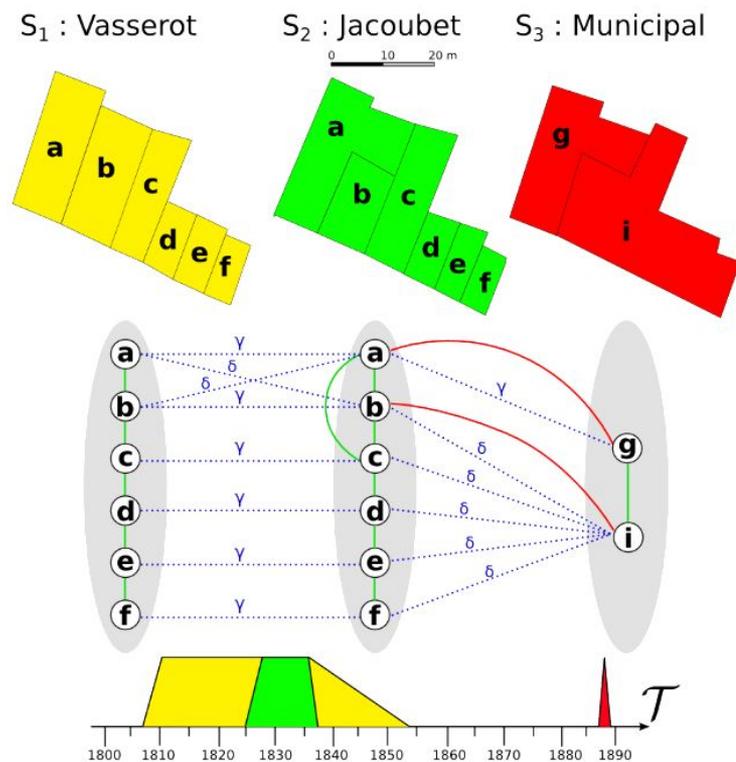
Appariement spatio-temporel

- Graphe spatio-temporel :

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

- Appariement :

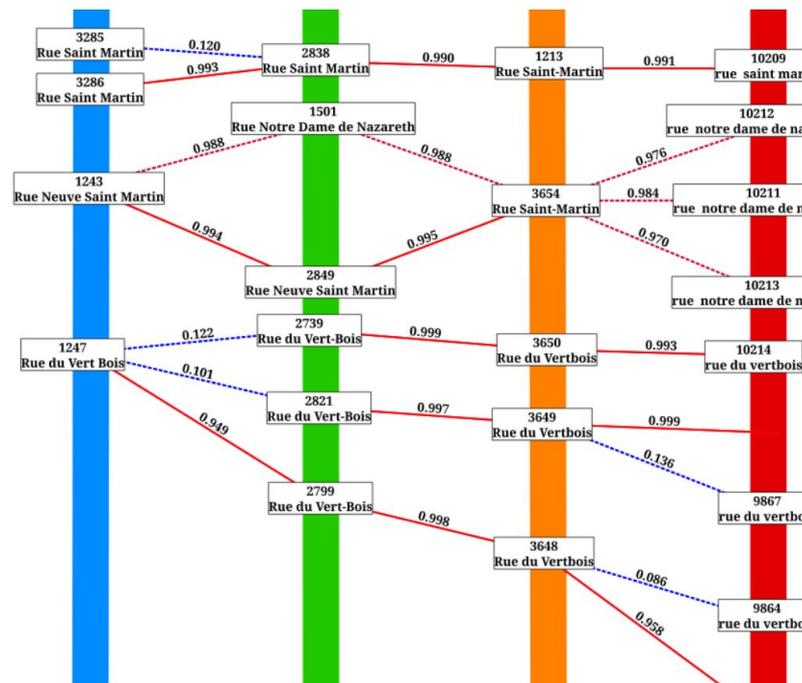
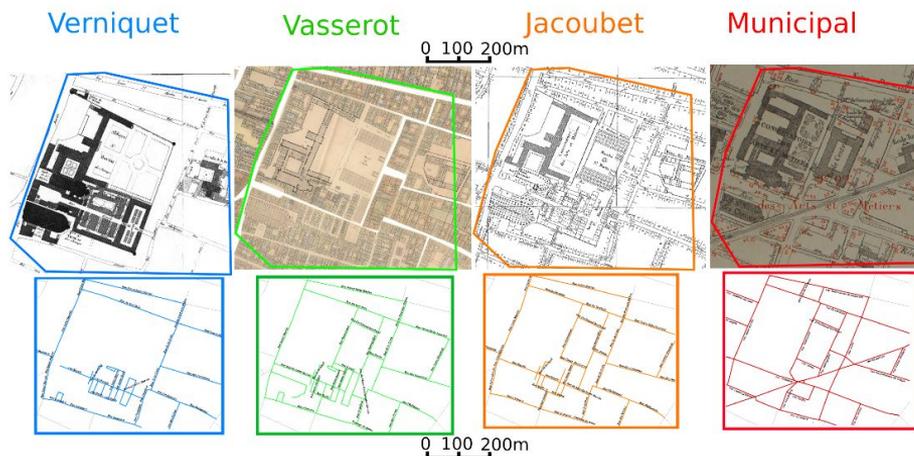
- Détection d'objets homologues dans différentes base de données
 - Entre polygones [Bel Hadj Ali, 2001]
 - Par analyse de la topologie de graphe [Mustière, 2008]
 - Par méthode d'optimisation stochastique adaptée aux données géohistoriques [Duménieu, 2015]



[Duménieu, 2015]

Appariement géohistorique

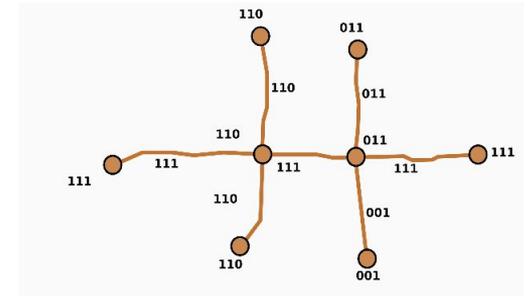
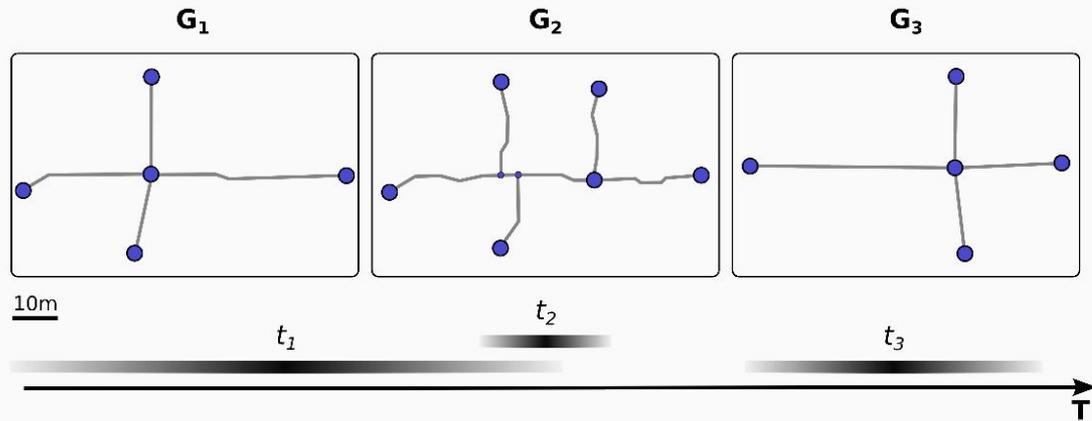
- Recherche du processus de filiation le plus probable possible
 - Théorie de Dempster-Schafer
 - Méthode d'optimisation (recuit simulé)



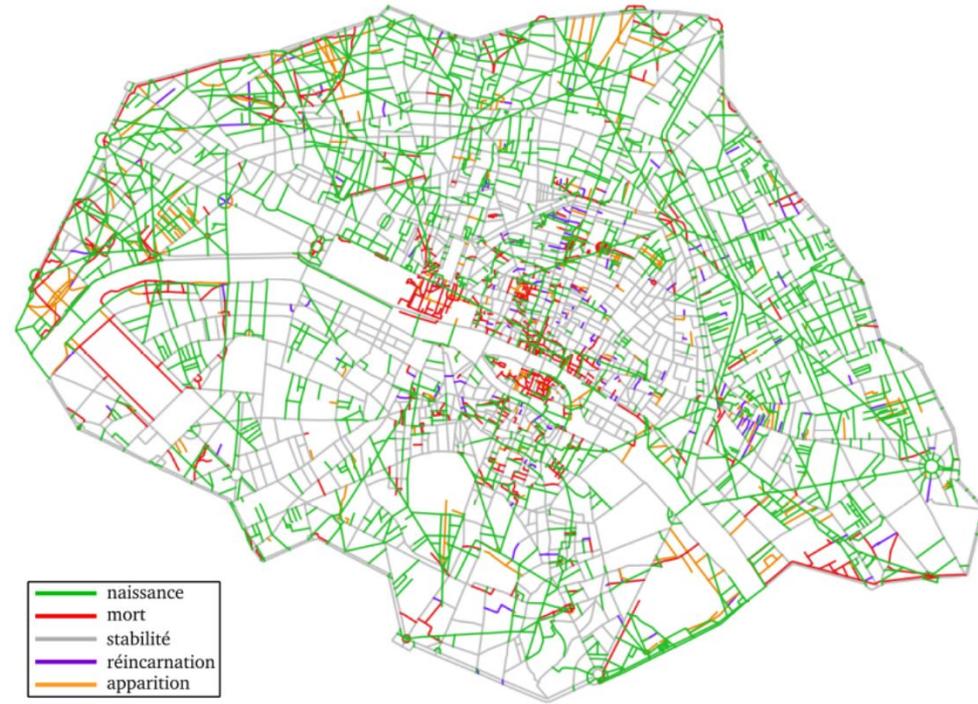
[Duménieu, 2015]

Intégration des données

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



Analyse des évolutions



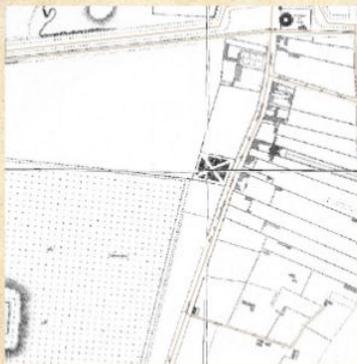
[Costes, 2016]

Interrogation sur les données sources

(In)Validation d'évènements

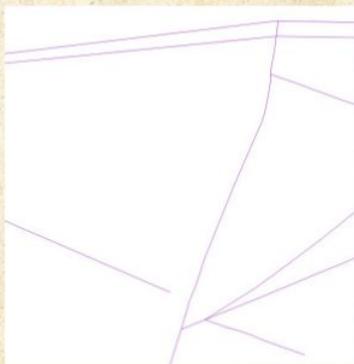
- Rue Hauteville et rue de la Barrière Saint-Denis (apparition)
- Tracé dans le plan de Jacoubet
- Jamais construite avec l'ouverture de la gare du Nord en 1946

Verniquet



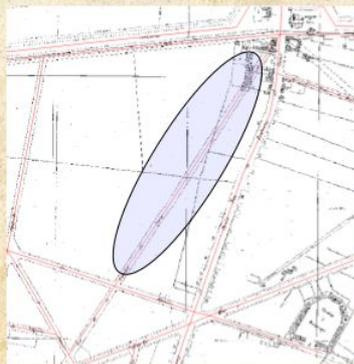
1789

Vasserot



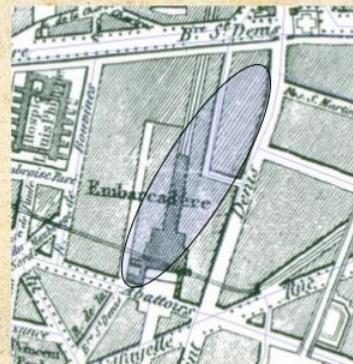
1808-1836

Jacoubet



1827-1839

Andriveau

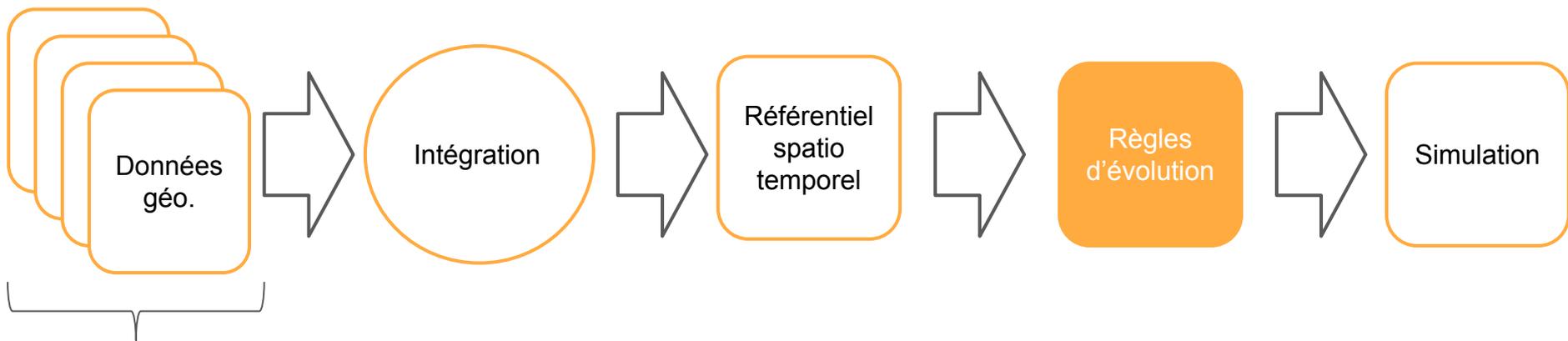


1849



1871

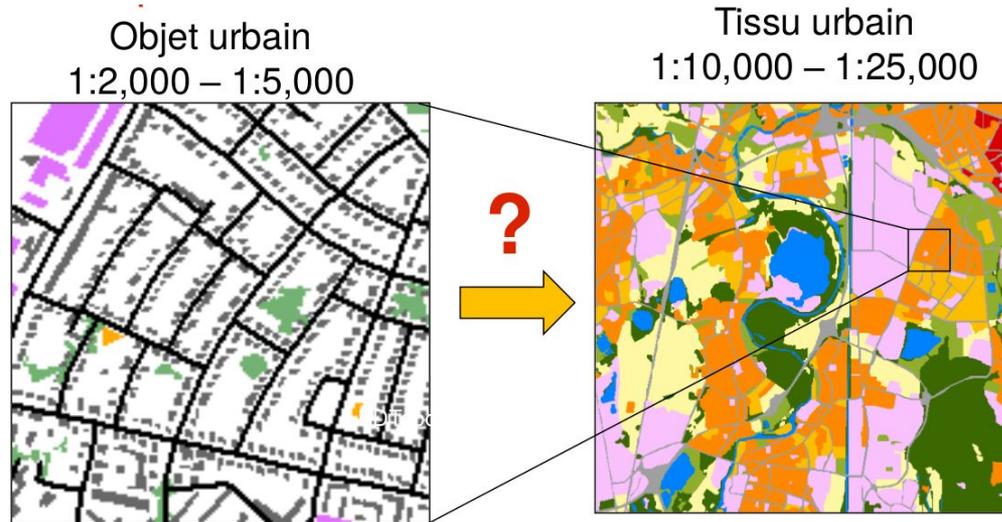
Plan de la présentation



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



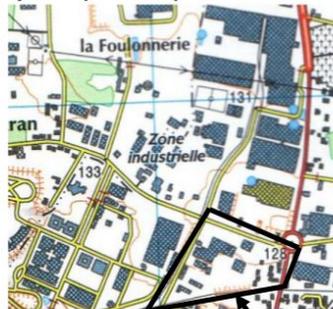
(3) Habitat collectif



(4) Habitat mixte



(6) Emprise spécialisée



(7) Emprise spécialisée peu bâtie

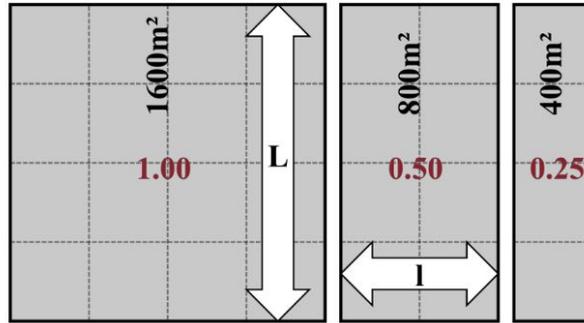


(5) Tissu mixte (activités + habitat)

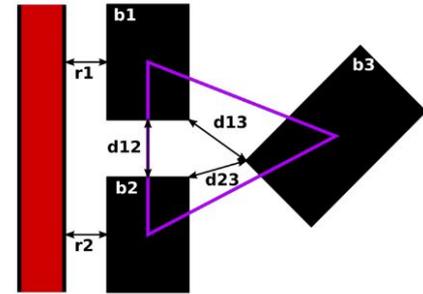
- + (8) réseau ferré / routier
- + (9) hydrographie

Calcul d'indicateurs morphologiques

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



Surface, élongation, convexité, ...



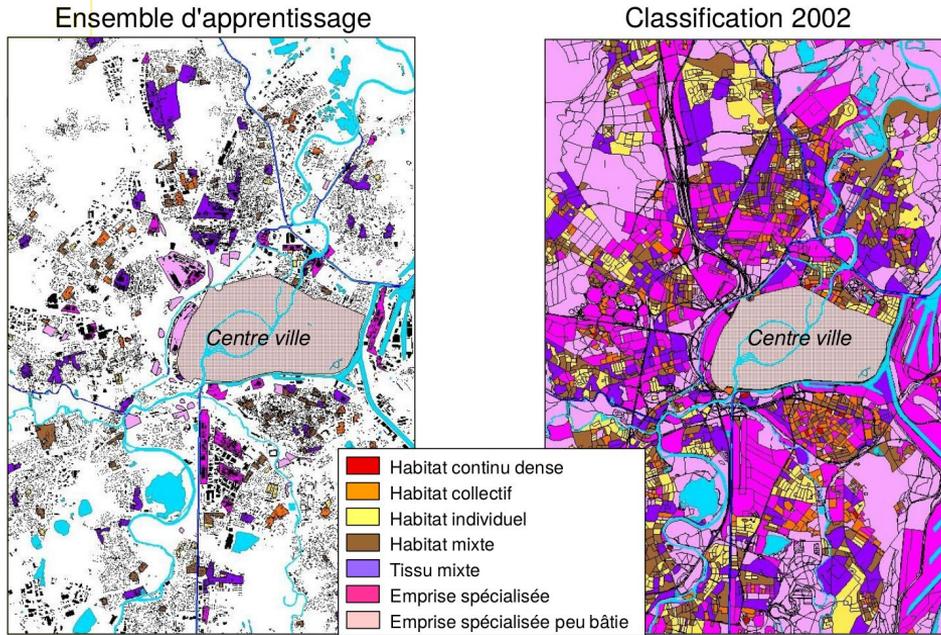
Distance entre bâtiments,
distance à la route,

- 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 < 185m² 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 $\in [0.05, 0.10] \rightarrow 4.5\%$

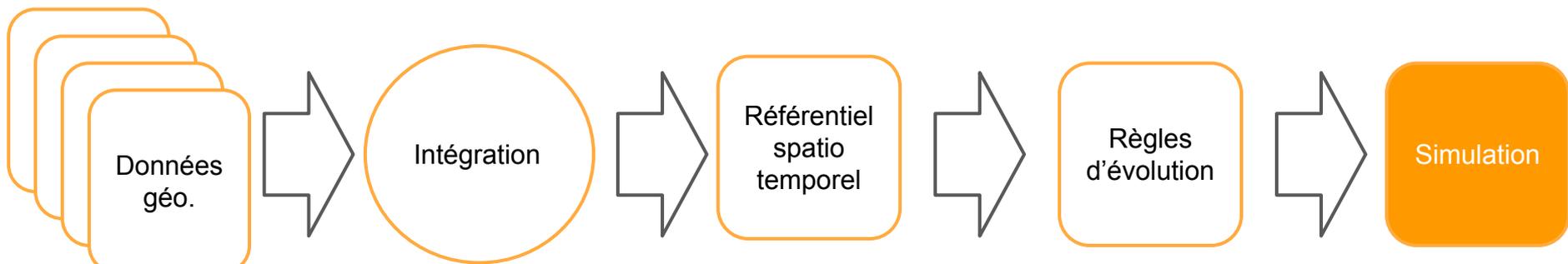
etc

- À l'échelle des îlots :

Règles de peuplement

| Nom de la méthode | «Barre» | «Grand Ensemble» | «Petit Collectif» |
|------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 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 interbâtimnt | | | |
| - 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 ² | 250 à 450m ² | 200 à 1000m ² |
| - élongation | 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 |
| - min à max | | 600 à 1400m ² | 1500 à 2500m ² |
| - élongation | | non renseigné | 0.6 |
| - épaisseur | | 10m | non renseigné |
| - fréquence | | 85% | 5% |

Plan de la présentation



Différentes temporalités

Simulation multi-échelle

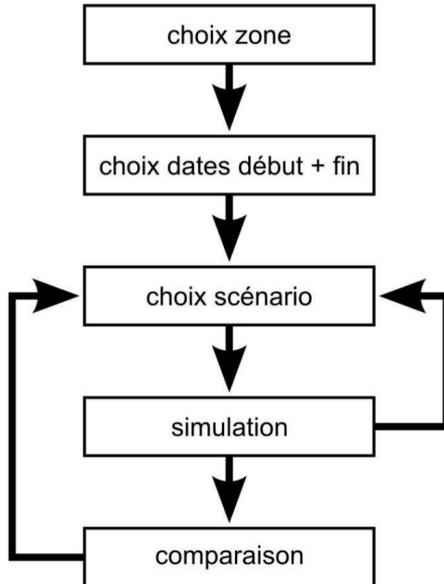
- Objectifs de la simulation :

- 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 :

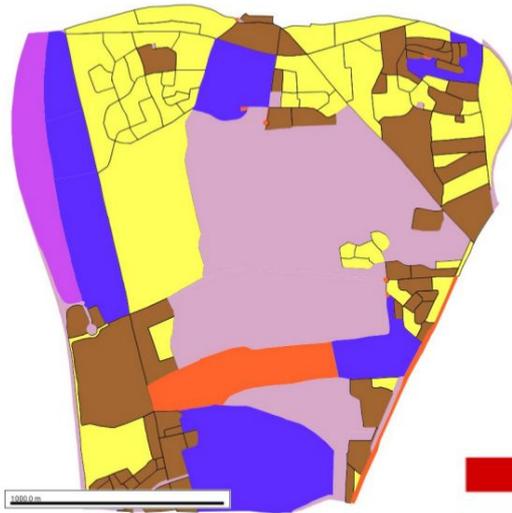
- Hypothèses de simulation
- Règles d'évolution

Processus de simulation - Évolution des types de tissus

Situation initiale (2002)

→

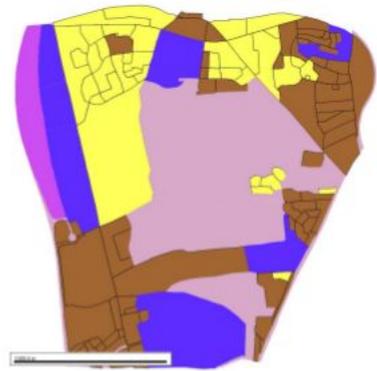
Classe objectif (2008)



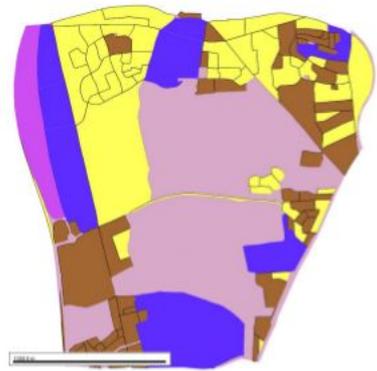
- | | |
|---|---|
|  Centre Ville |  Emprise spécialisée bâtie |
|  Habitat collectif |  Emprise spécialisée peu bâtie |
|  Habitat pavillonnaire |  Habitat mixte |
| |  Tissu mixte |

Processus de simulation - Évolution des types de tissus

Voisinage



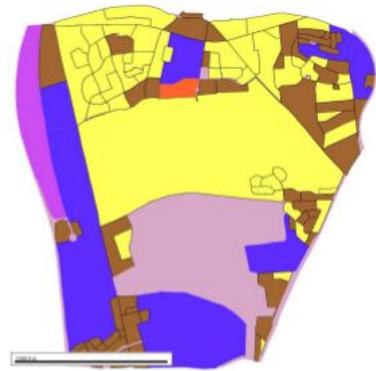
Historique



Historique par zone



Situation finale réelle



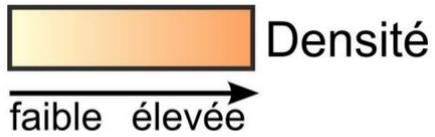
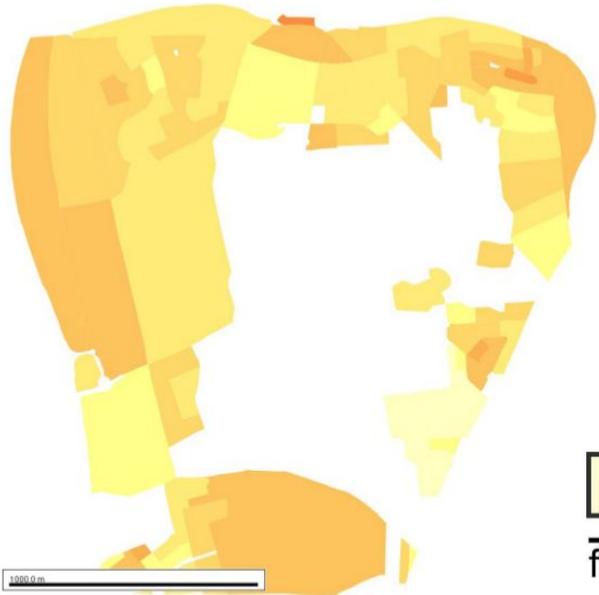
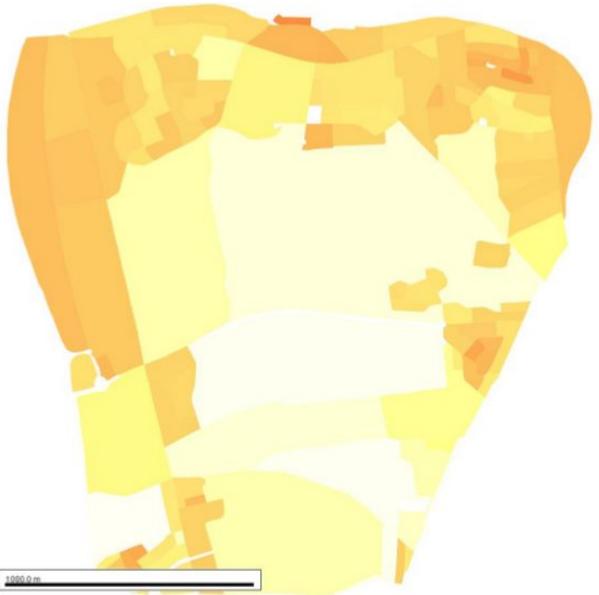
- Centre Ville
- Habitat collectif
- Habitat pavillonnaire
- Emprise spécialisée bâtie
- Emprise spécialisée peu bâtie
- Habitat mixte
- Tissu mixte

Processus de simulation - Évolution de la densité

Situation initiale (2002)

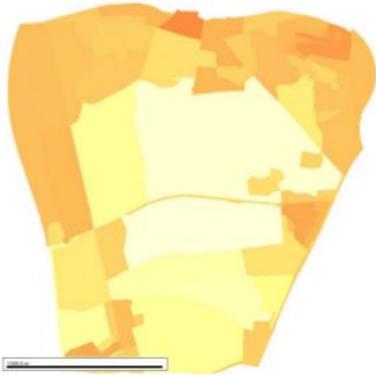
→

Densité objectif (2008)

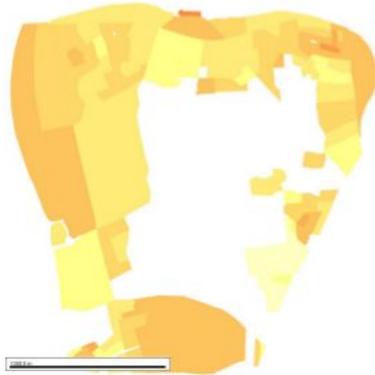


Processus de simulation - Évolution de la densité

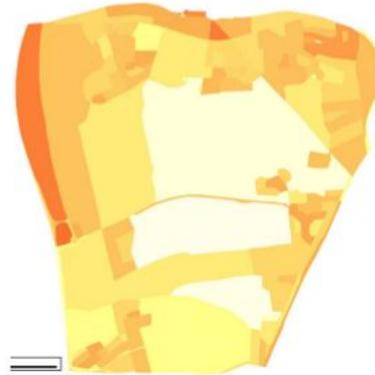
Voisinage



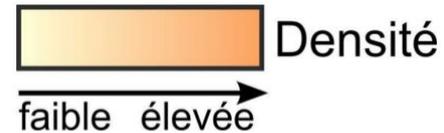
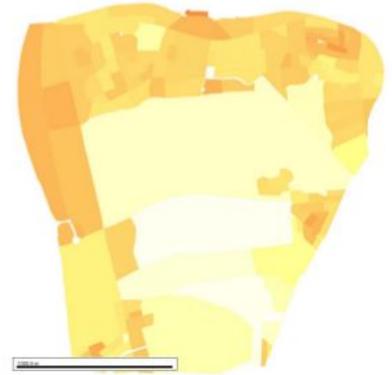
Historique



Historique
par zone

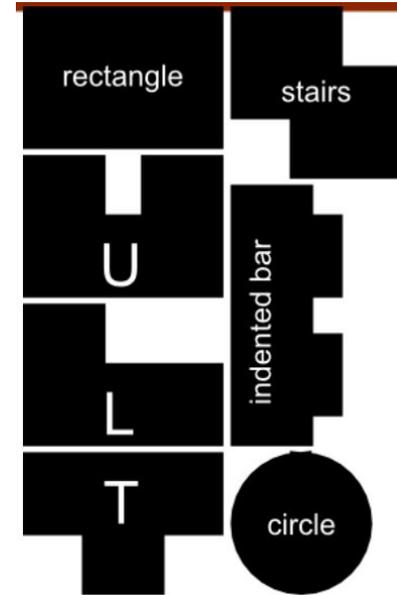
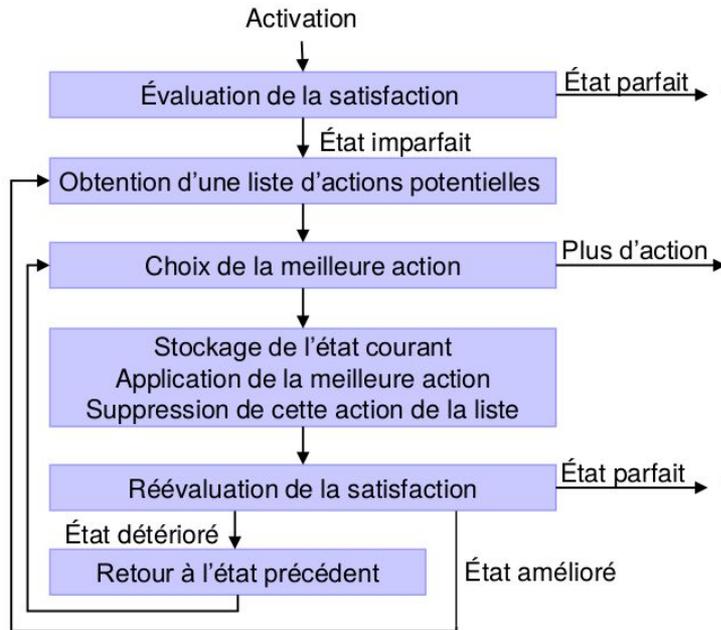


Situation finale
réelle



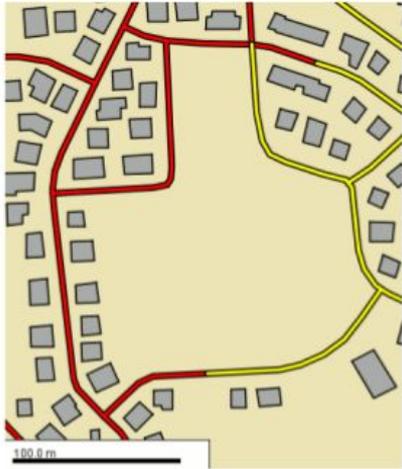
Densification

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

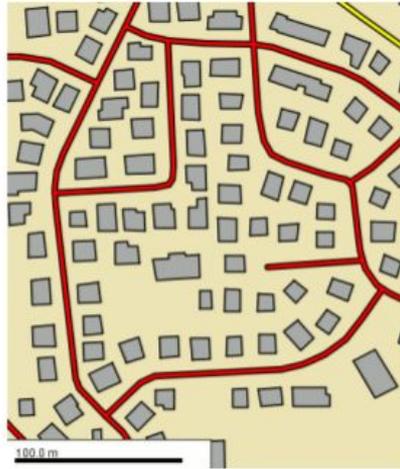


Résultats

- 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 :

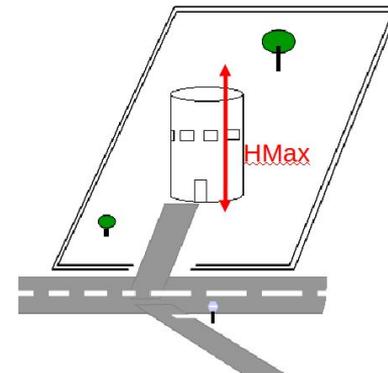
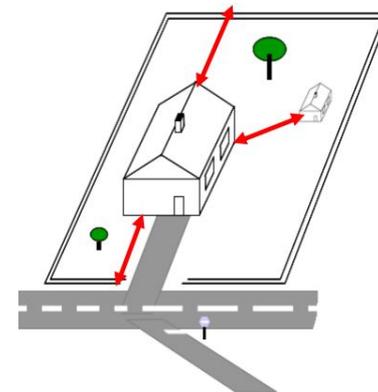
| | | |
|---|-----------------|----------------|
| 1- P = 0 | h = 0 | symbole brun |
| 2- 0 < P ≤ 30° | h = 2,50 mètres | rectangle rose |
| 3- 30° < P ≤ 45° | h = 5 mètres | rectangle vert |
| 4- 45° < P ≤ 70°, P prolongée par une pente P' telle que 0 < P' ≤ 15° | h = 4 mètres | filet bleu |

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 :

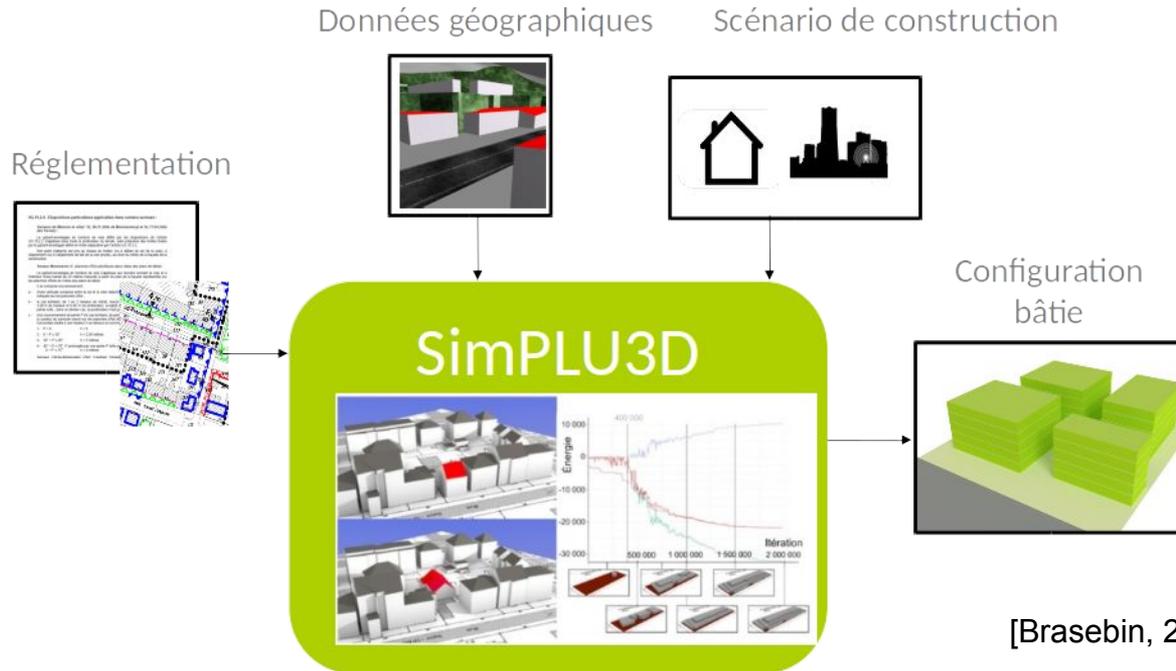
- Sur l'avenue de la Porte de Clichy, hors du sous-secteur Berthier Nord et sur les tronçons de voies à créer situées en ZAC qui bordent un espace vert public ou dont la largeur est supérieure ou égale à 20 mètres, le gabarit-enveloppe est constitué d'une verticale limitée par une horizontale située 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 située 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 située à 23 mètres de hauteur.

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



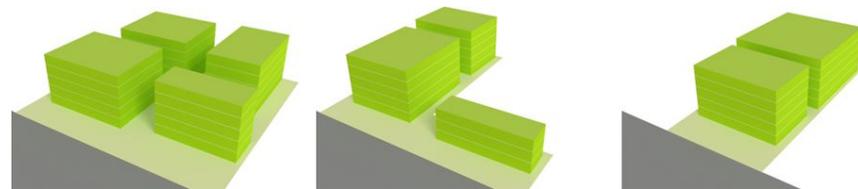
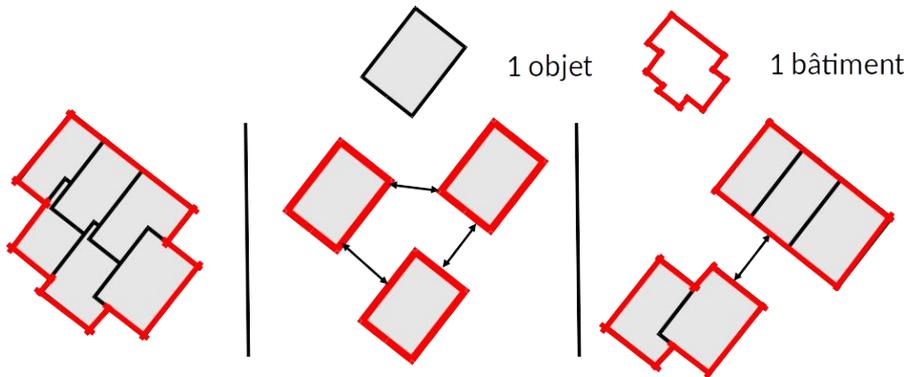
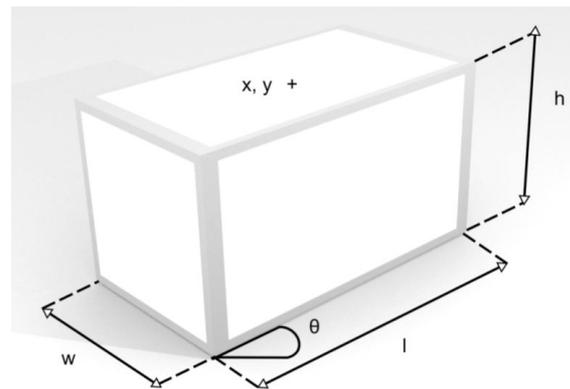
Simulation de la constructibilité

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



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



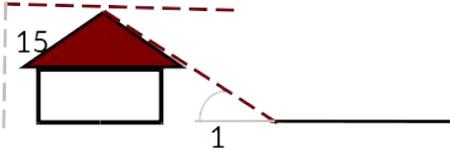
Définition d'une simulation

- Règles :

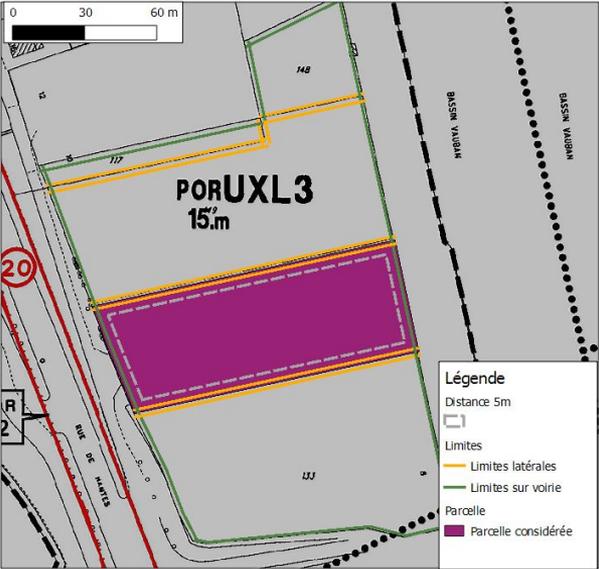
- Limitation emprise bâtie



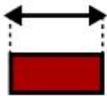
75% - Limitation de la hauteur



- Limitation de l'implantation



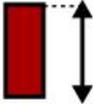
- Scénario :



5 - 30 m



0 - 180°

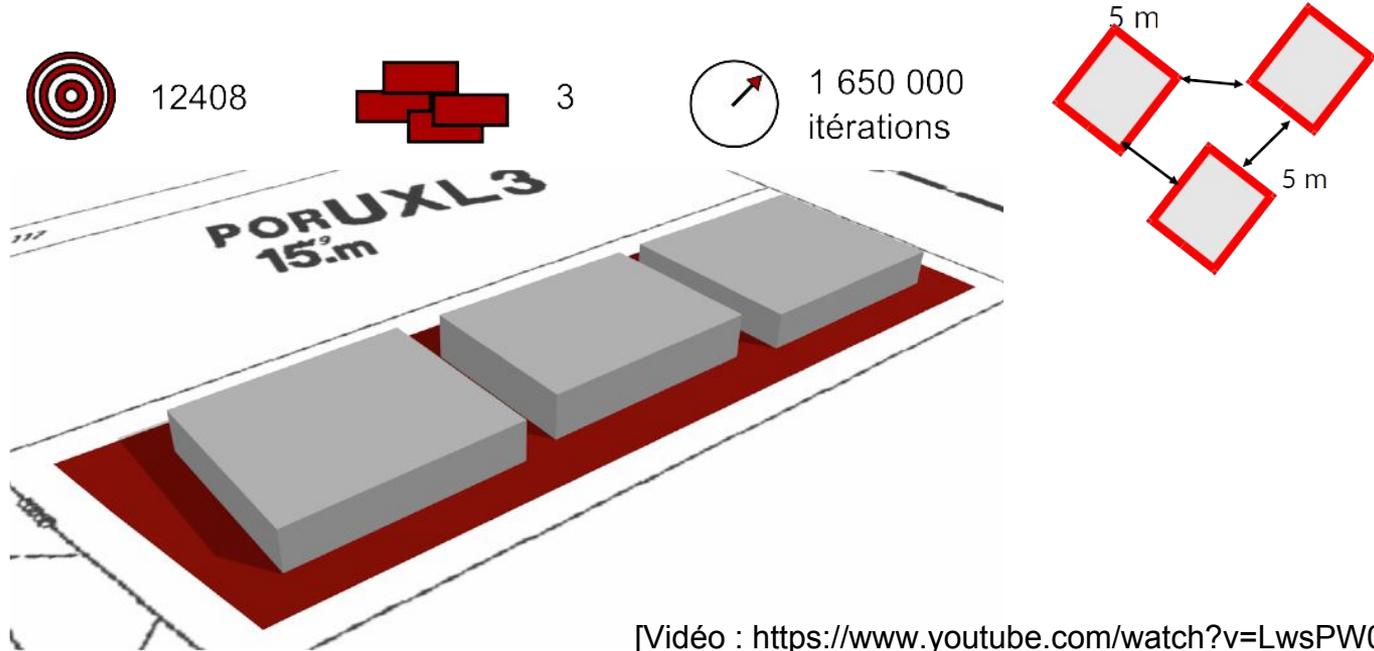


3 - 15 m



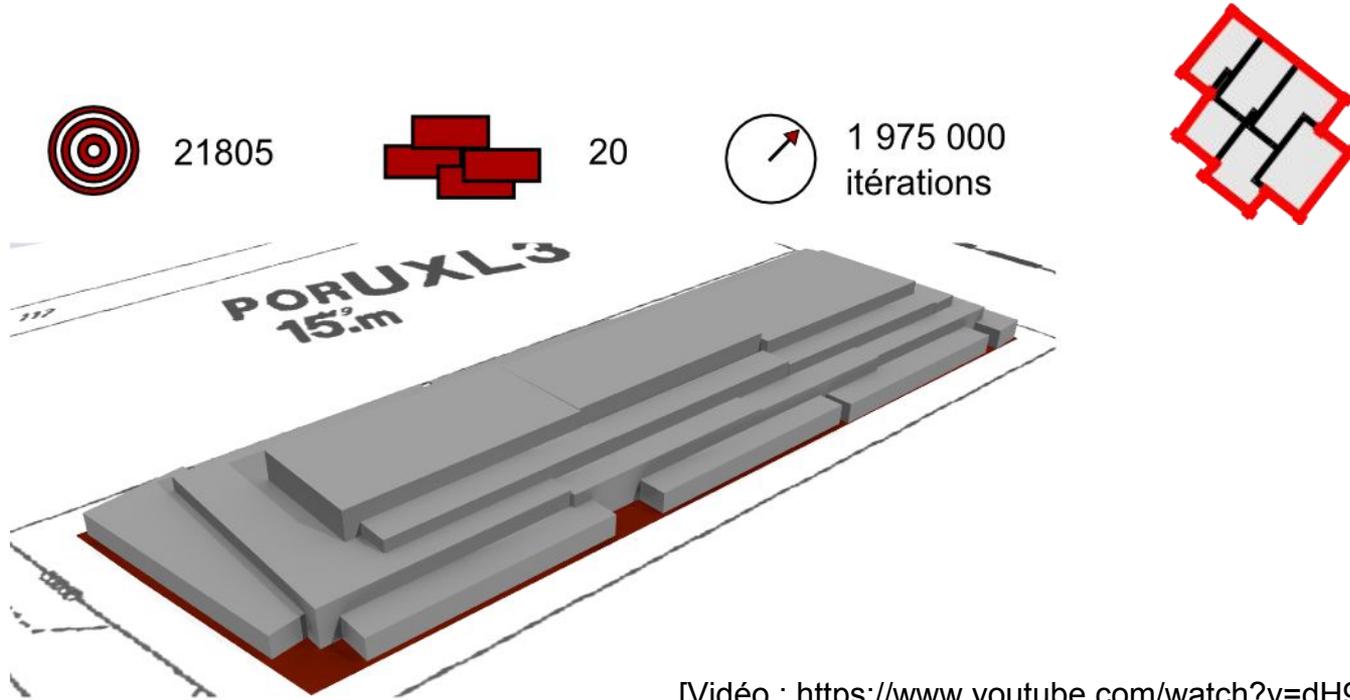
Volume

Simulation de plusieurs bâtiments



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

Simulation d'un bâtiment complexe

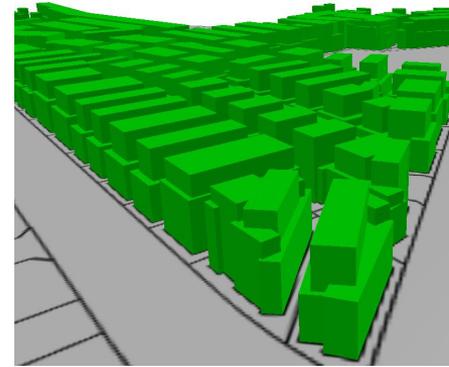


Évaluation de la constructibilité en Ile-de-France

- 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)

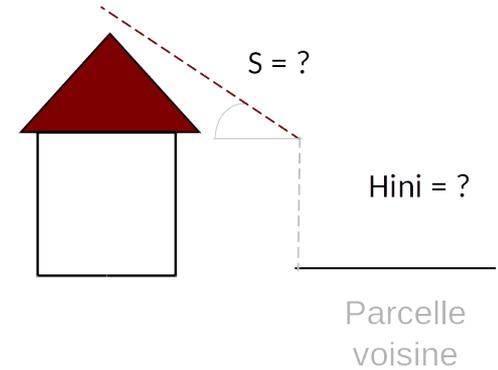
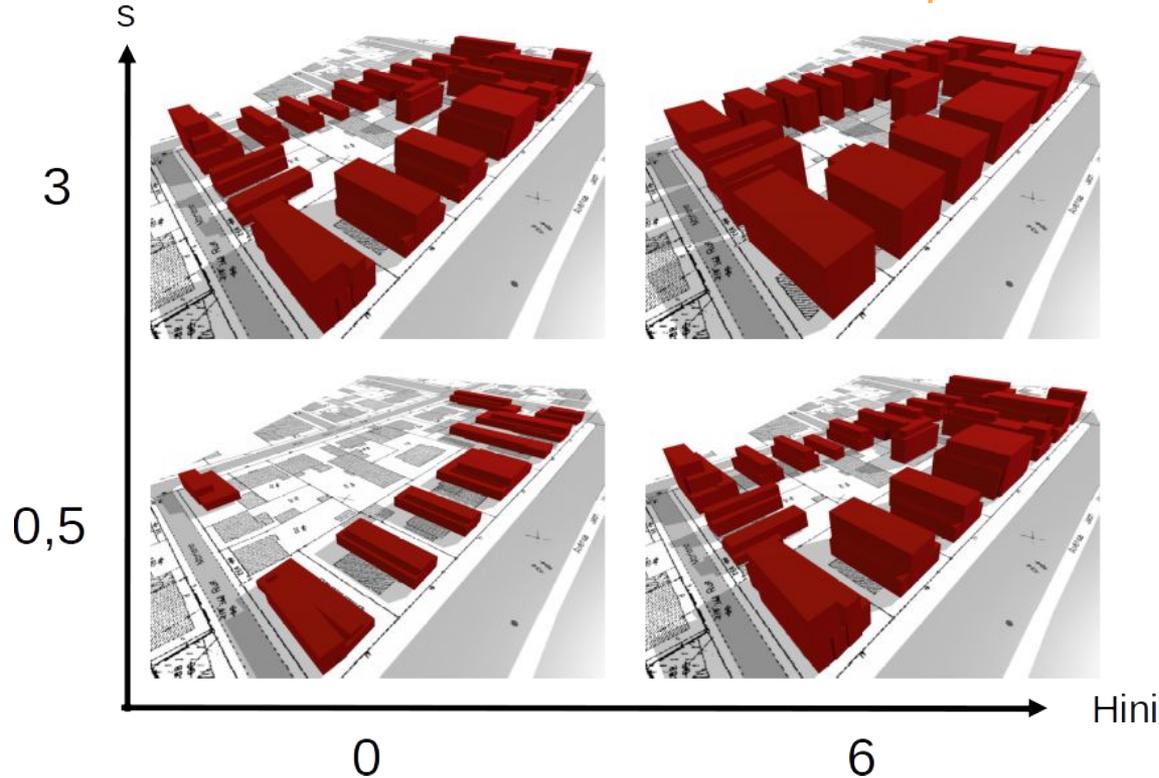


Sources cartographiques : BD Topo, IGN, Majic 2013, DGFP, BD constructibilité, CDC, DRIEA, EPFF, IAU IdF, ORF. © ORF
Traitement cartographique : IAU IdF © ORF • Mise en forme & fonds cartographiques : IAU IdF



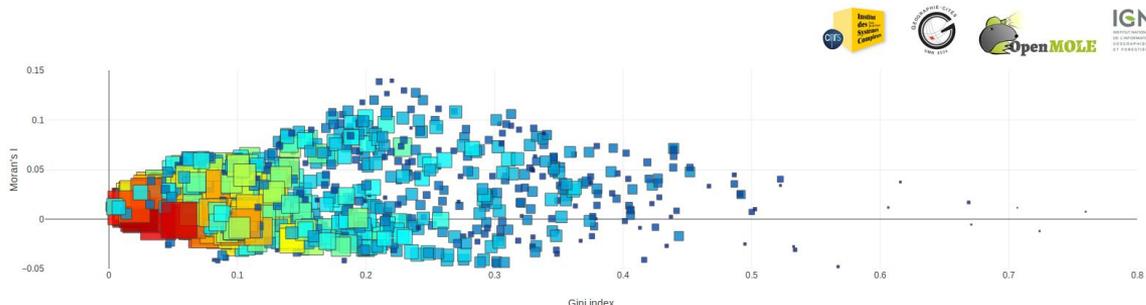
Étude de différents scénarios

- 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

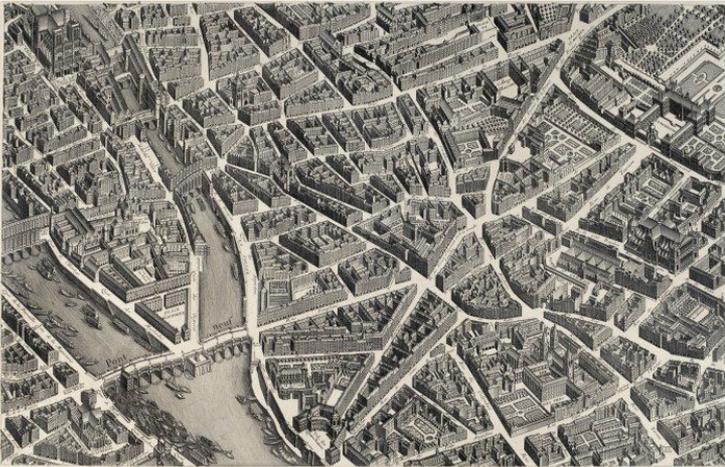


<https://simplu.openmole.org/>

[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.