

# Reconstruction en 3D de scènes urbaines à partir de données aéroportées: quels progrès depuis 20 ans?

Florent Lafarge

Equipe-Projet Titane

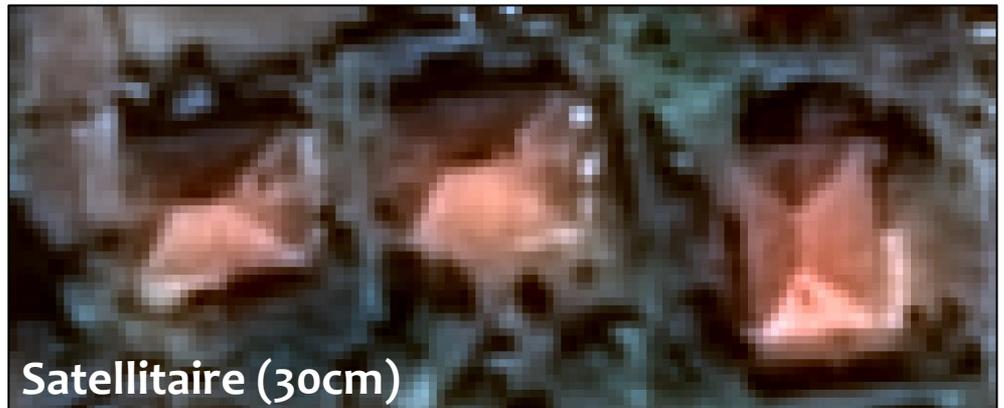
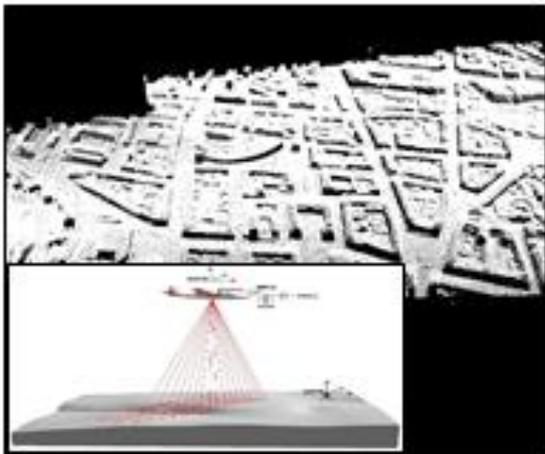
The logo for Inria, featuring the word "Inria" in a stylized, red, cursive script font.

# Définition du problème et défis scientifiques

Modélisation géométrique de scènes urbaines à partir de données aéroportés

## Les données

- Images aériennes
- Images satellitaires
- Relevé Laser (aérien)



# Définition du problème et défis scientifiques

Modélisation géométrique de scènes urbaines à partir de données aéroportés

## Les données

- Images aériennes
- Images satellitaires
- Relevé Laser (aérien)

## L'objectif

- Créer un jumeau numérique des scènes urbaines (bâtiments)
- Géométrie définie explicitement
  - Scènes statiques

## Applications

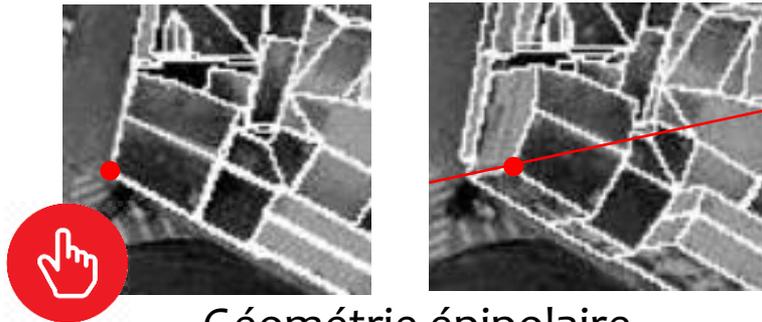
Simulation  
Visualisation  
Planification

## Défis scientifiques

**Robustesse** aux données imparfaites  
**Adaptabilité** aux besoins des utilisateurs  
**Performance**

# Etat de l'art il y a 20 ans

- principalement des plateformes de modélisation interactives

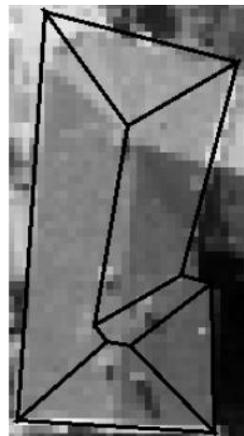
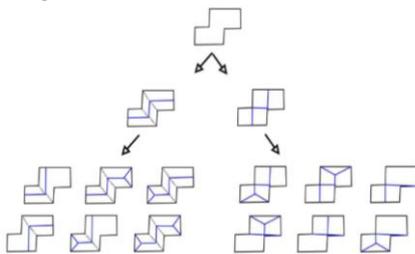


Géométrie épipolaire

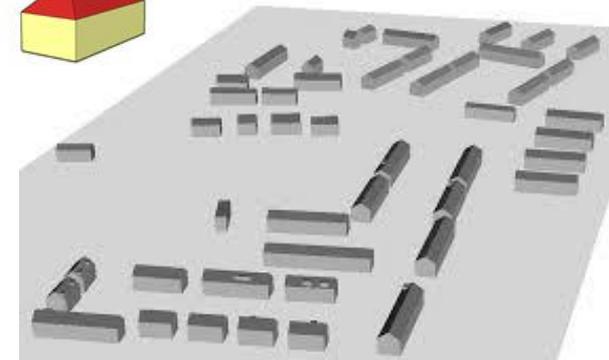
→ sociétés de SIG

- quelques méthodes automatiques

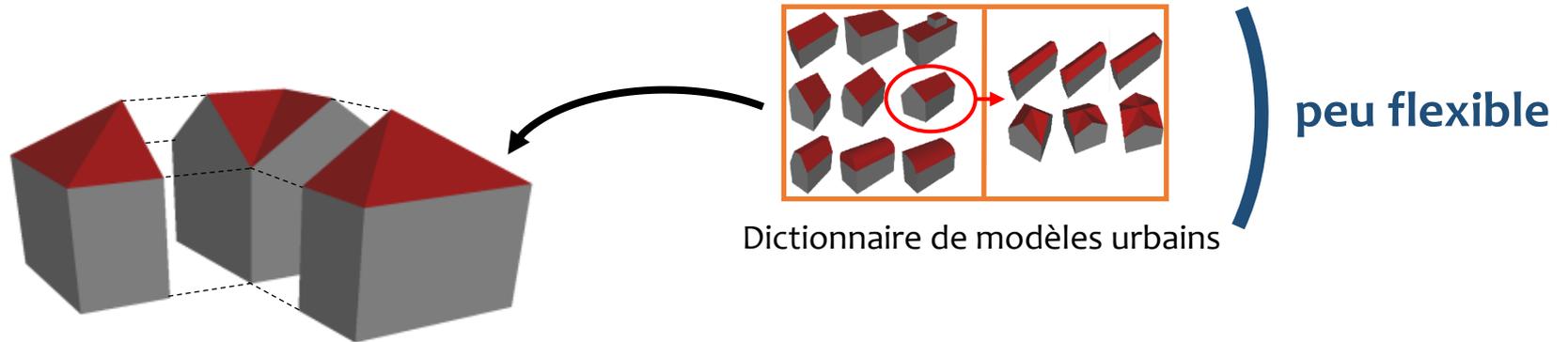
squelettisation de toits



template matching



# Assemblage de modèles 3D (2008)

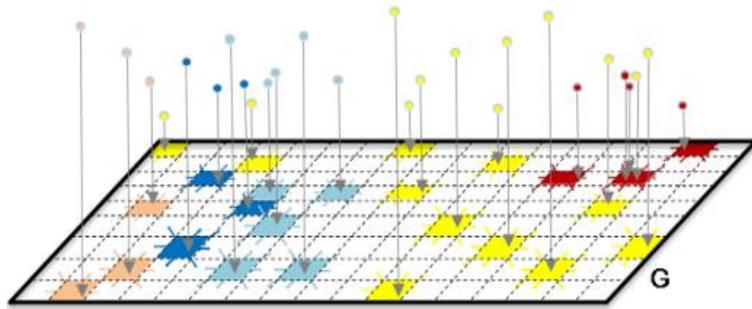


un bâtiment = un assemblage de modèles paramétriques 3D simples

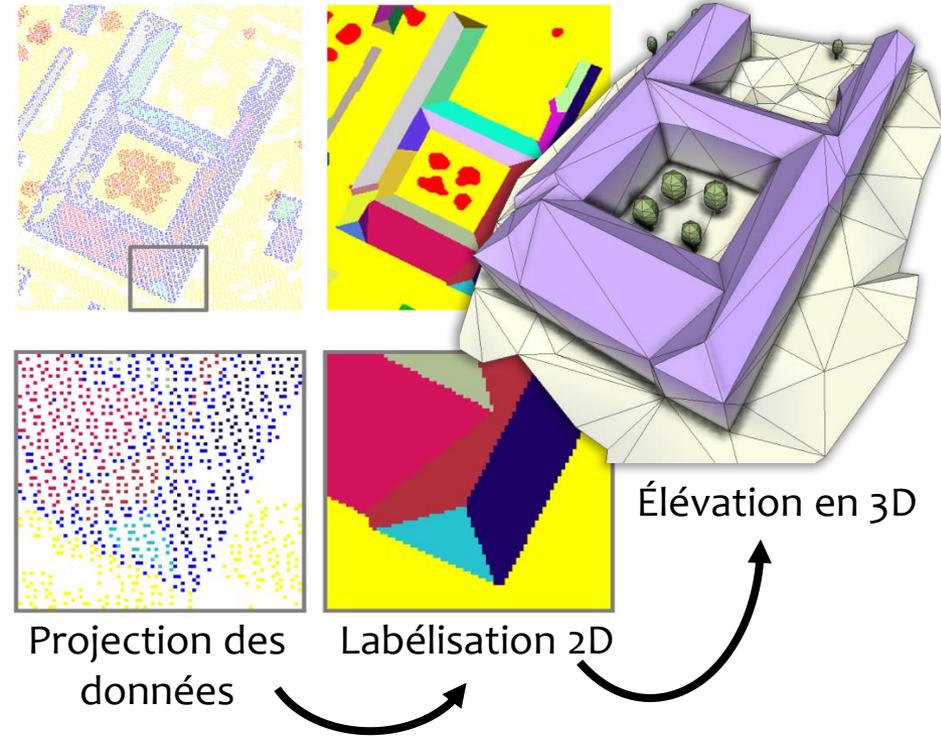
- Formulation bayésienne avec des a priori d'assemblage
- Optimisation stochastique (RJMCMC+SA)

**peu performant**

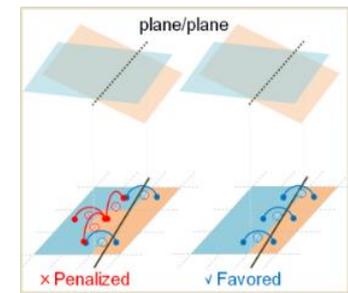
# Arrangement planimétrique basé pixel (2011)



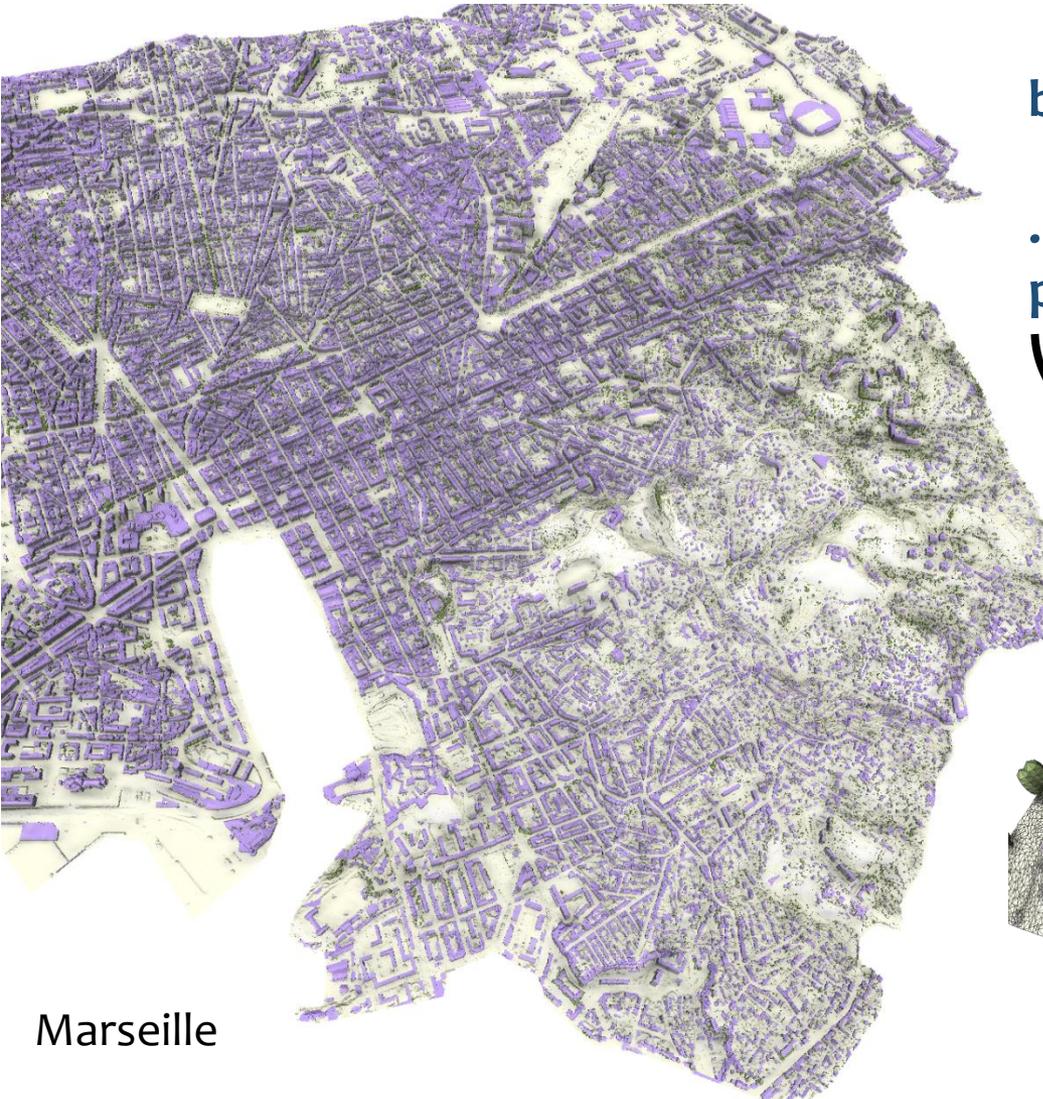
Reconstruire des bâtiments  
comme un problème de  
labélisation d'images



- Champs de Markov et optimisation sur graphes
- Interactions géométriques 3D encodées au niveau pixel



# Arrangement planimétrique basé pixel (2011)

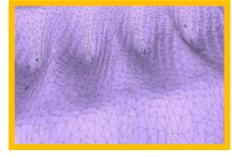
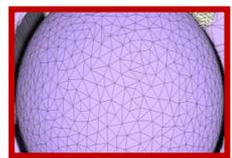
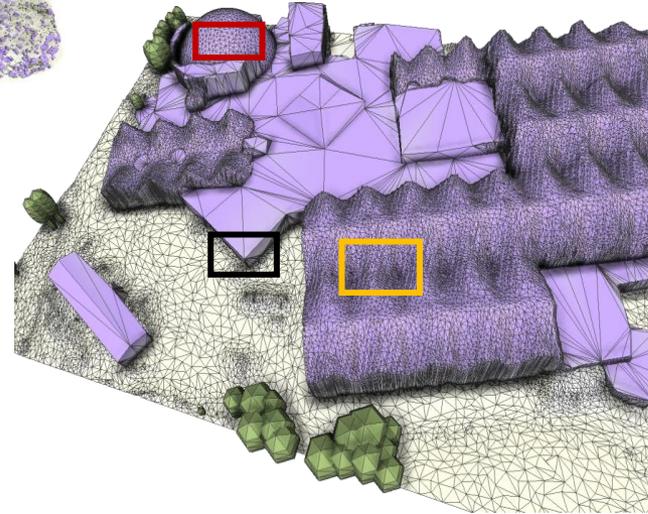


Marseille

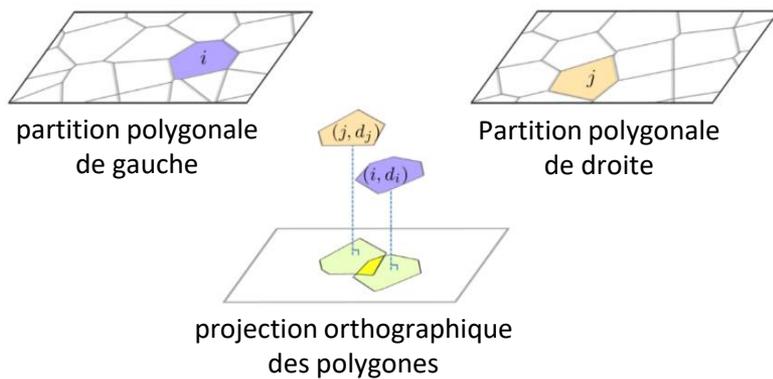
bonnes performances

... mais pas directement exploitable par les praticiens

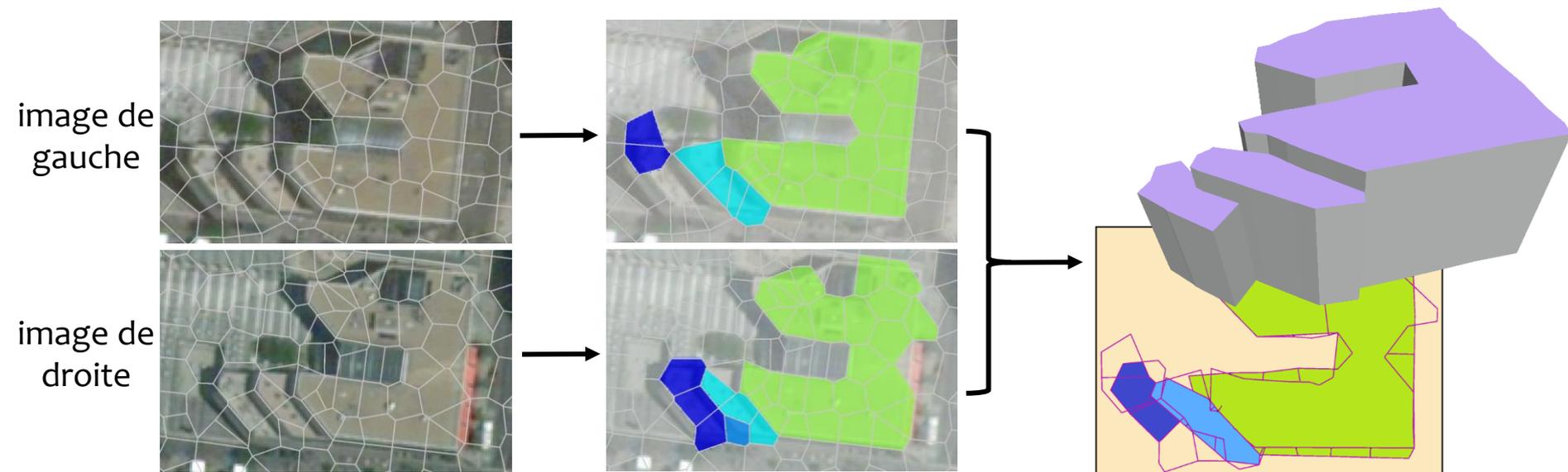
Besoin d'exploiter des structures de données géométriques efficaces



# Fusion de cellules de Voronoi (2015)

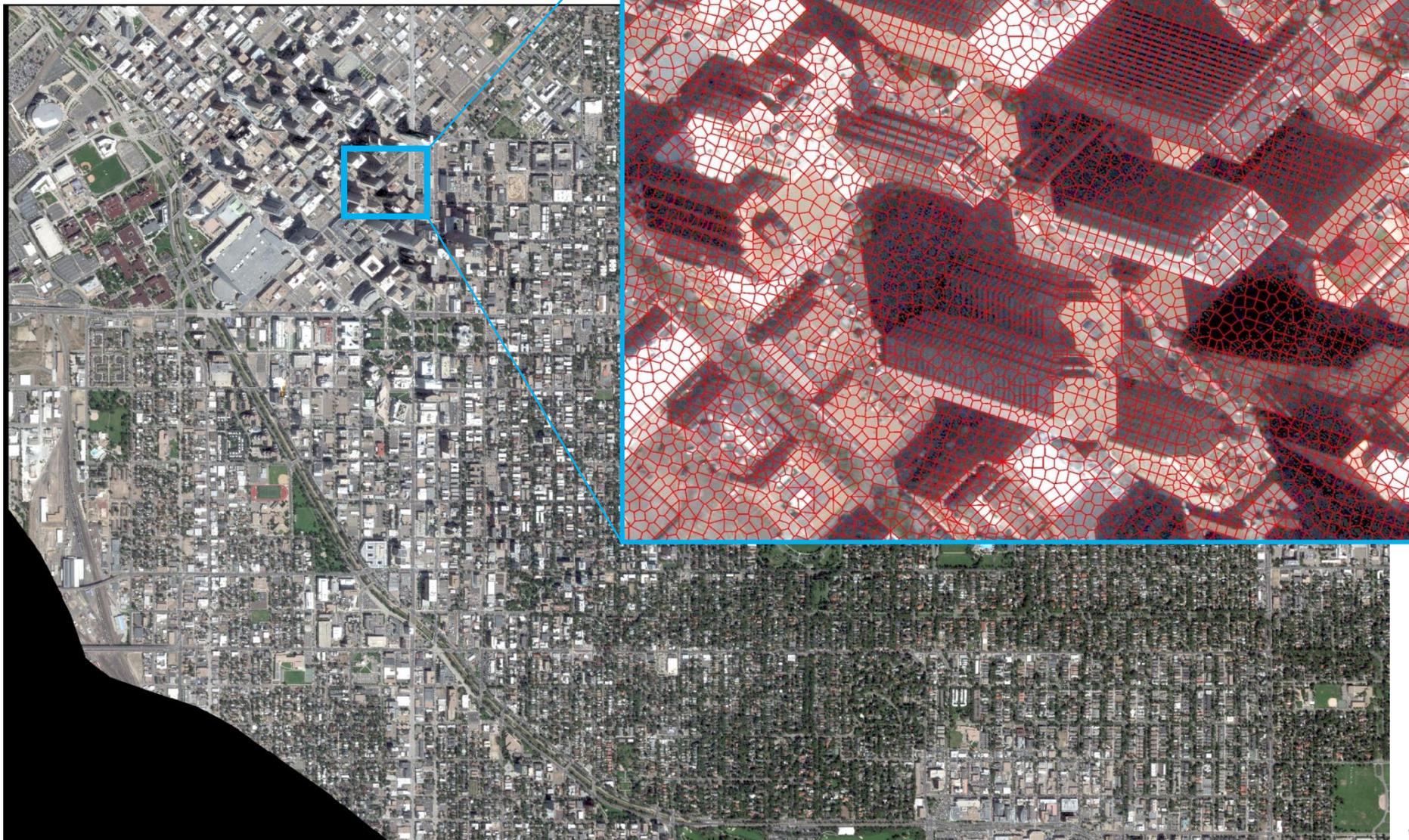


- Sur-segmentation des images stéréo
- Estimation de l'élévation des cellules
- Fusion géométrique



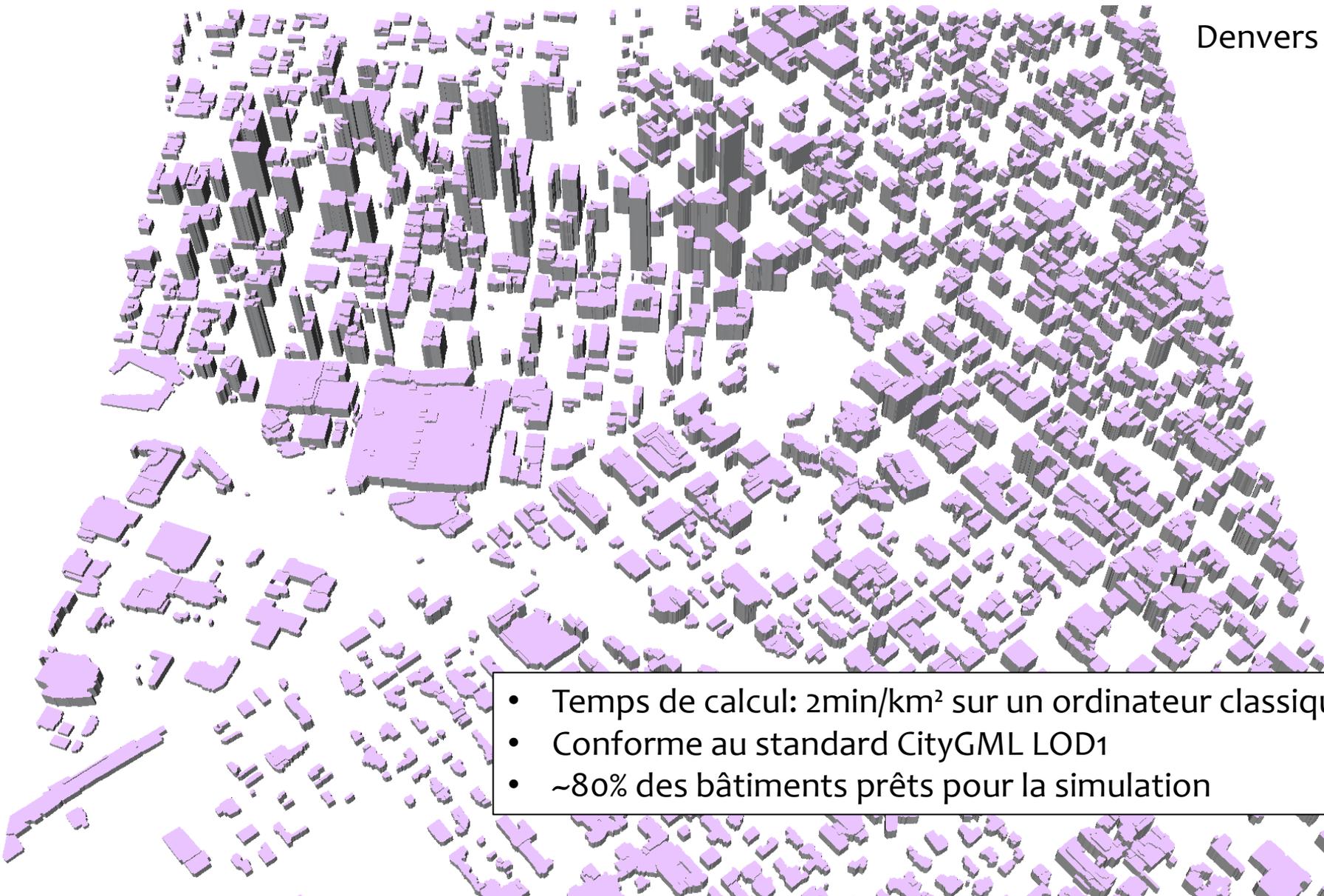
# Fusion de cellules de Voronoi (2015)

Denvers (US)



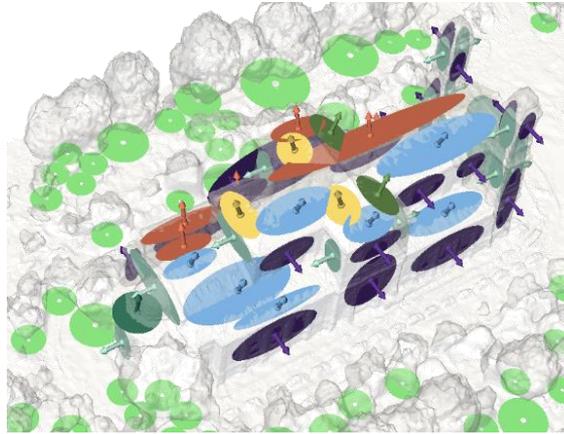
# Fusion de cellules de Voronoi (2015)

Denver (US)



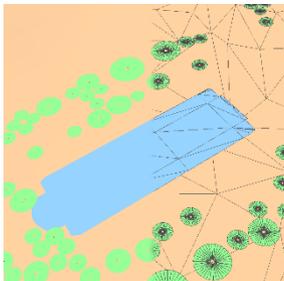
- Temps de calcul: 2min/km<sup>2</sup> sur un ordinateur classique
- Conforme au standard CityGML LOD1
- ~80% des bâtiments prêts pour la simulation

# Assemblage de formes planaires (2015)



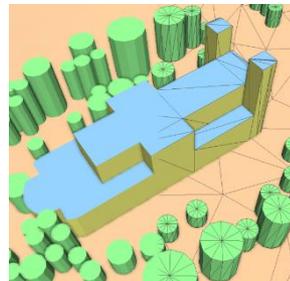
- Détection de formes planaires
- Analyse à différents niveaux d'abstraction
- Assemblage par arrangement de plans

Sortie: niveaux de détail (LOD) CityGML



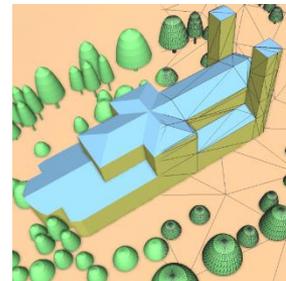
LOD0

transport  
drainage



LOD1

Planification radio  
Simulation de catastrophes



LOD2

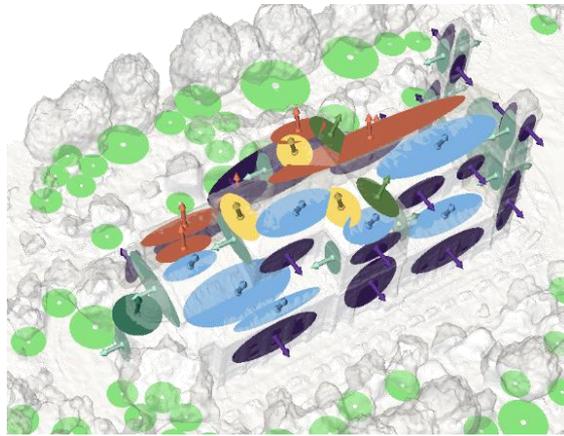
Aménagement urbain  
Simulation thermique



LOD3

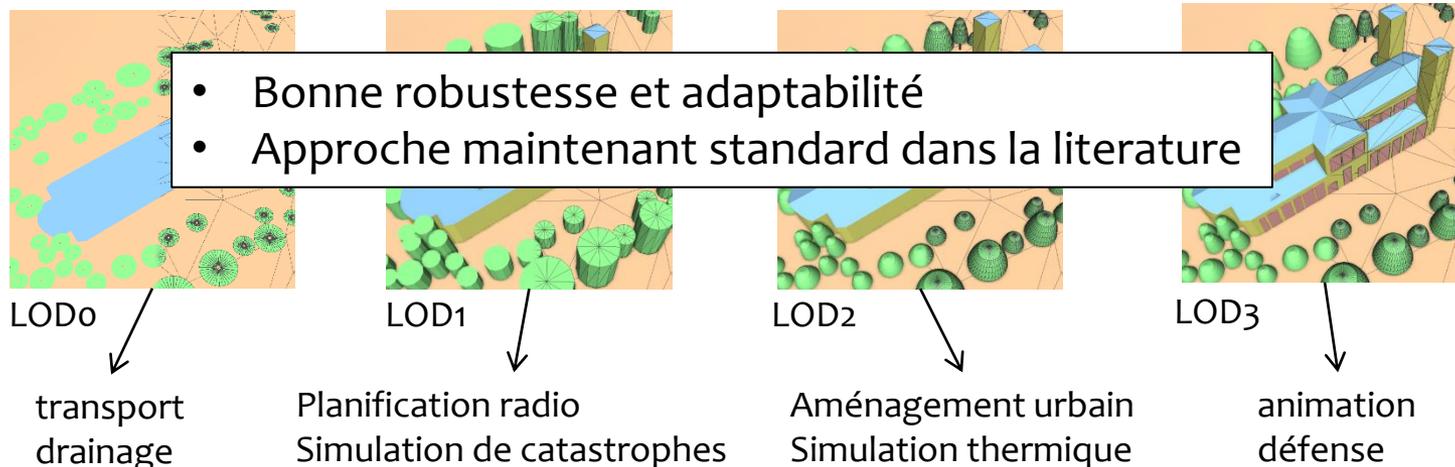
Animation

# Assemblage de formes planaires (2015)

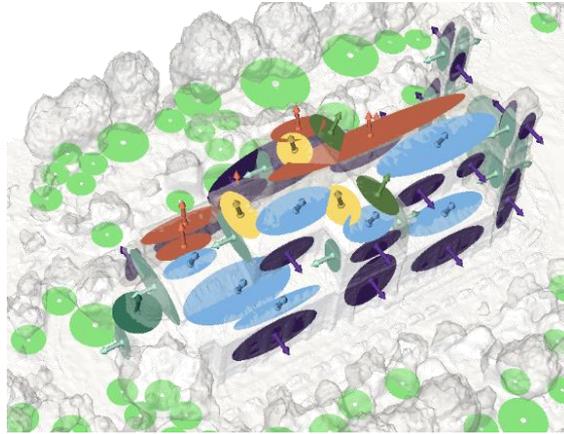


- Détection de formes planaires
- Analyse à différents niveaux d'abstraction
- Assemblage par arrangement de plans

Sortie: niveaux de détail (LOD) CityGML



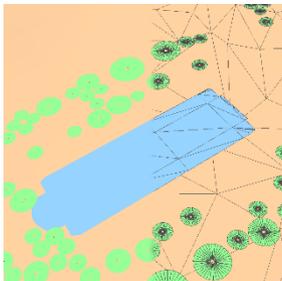
# Assemblage de formes planaires (2015)



- Détection de formes planaires
- Analyse à différents niveaux d'abstraction
- Assemblage par arrangement de plans

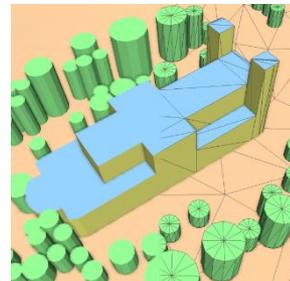
**peu performant**

Sortie: niveaux de détail (LOD) CityGML



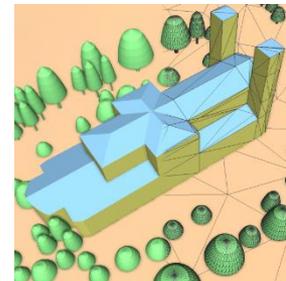
LOD0

transport  
drainage



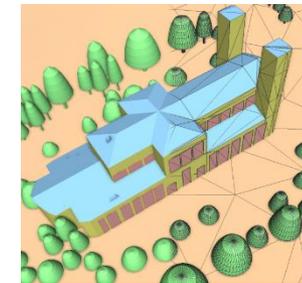
LOD1

Planification radio  
Simulation de catastrophes



LOD2

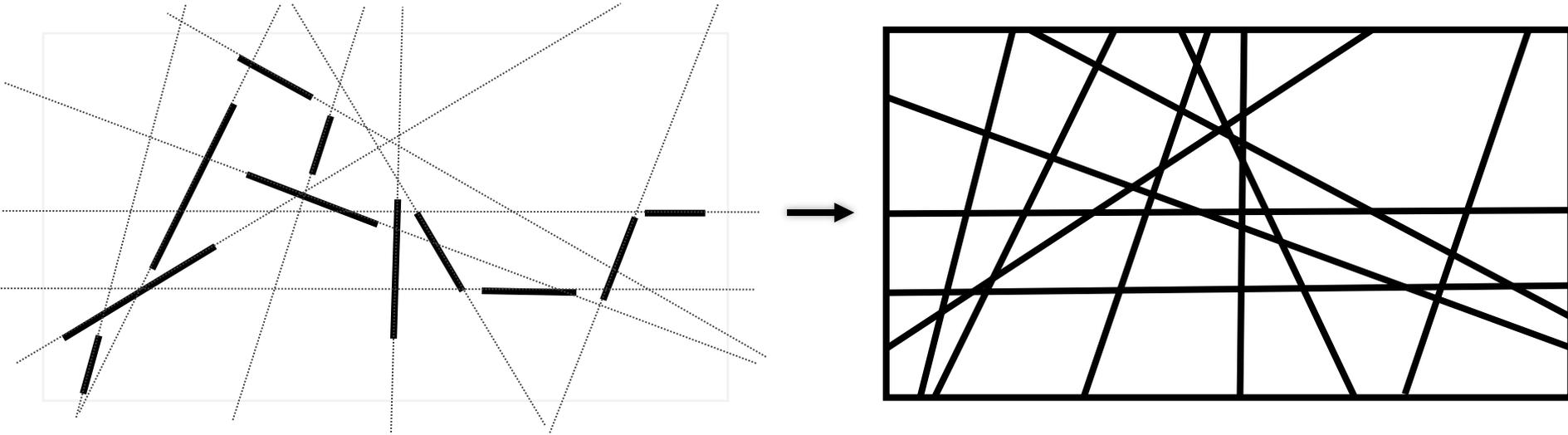
Aménagement urbain  
Simulation thermique



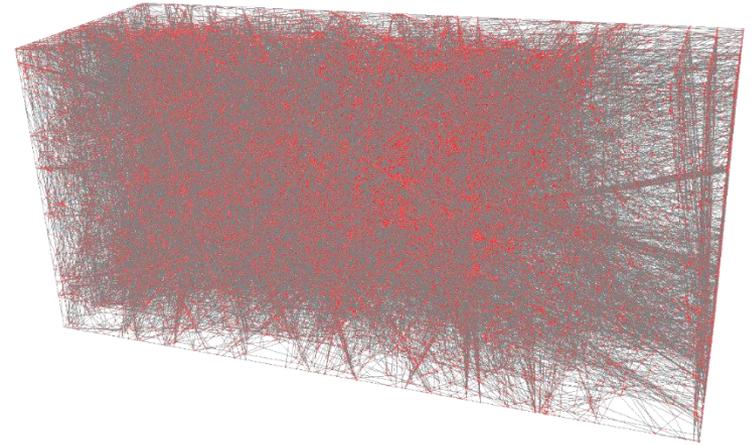
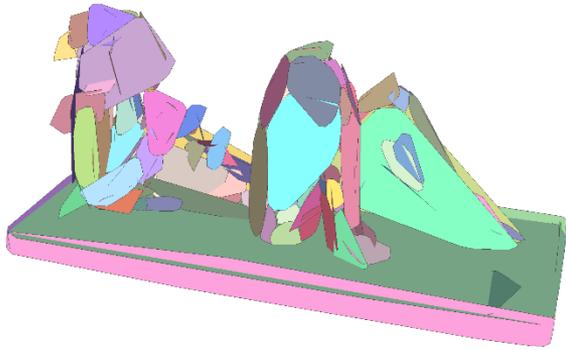
LOD3

animation  
défense

# Construction des arrangements de plans



# Construction des arrangements de plans



#formes planaires: 146

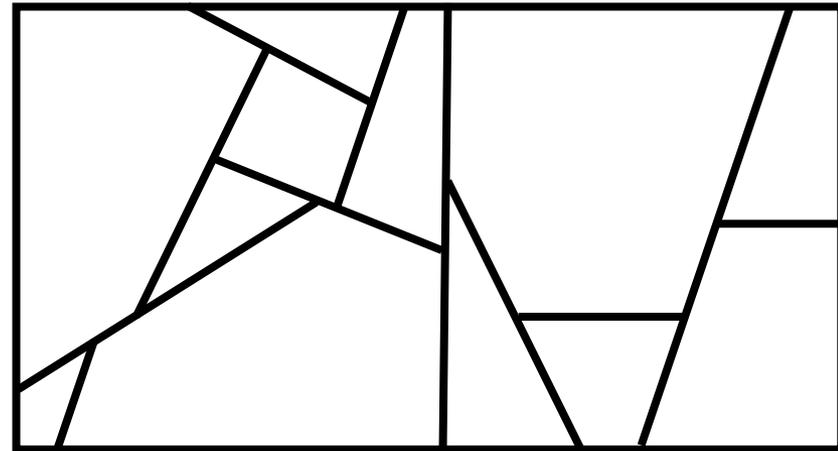
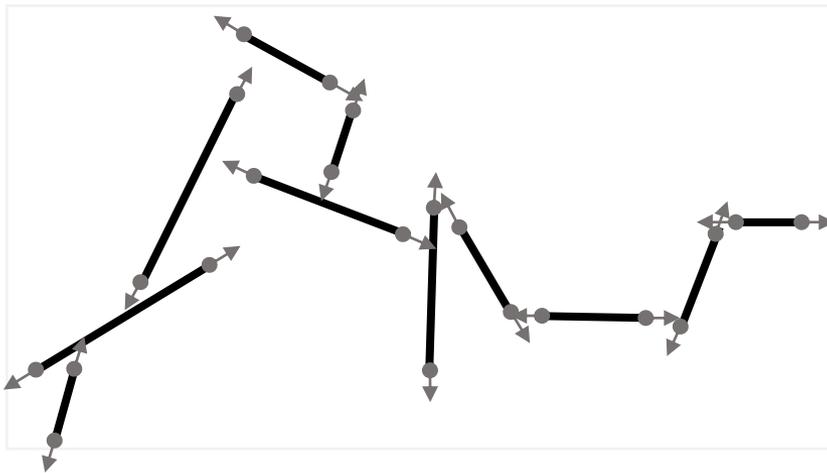
#polyèdres: 190K

Temps de construction: 11min

Consommation mémoire: 6.4GB

**Besoin de structures de données plus efficaces!**

# Arrangements de plans cinétique (2020)

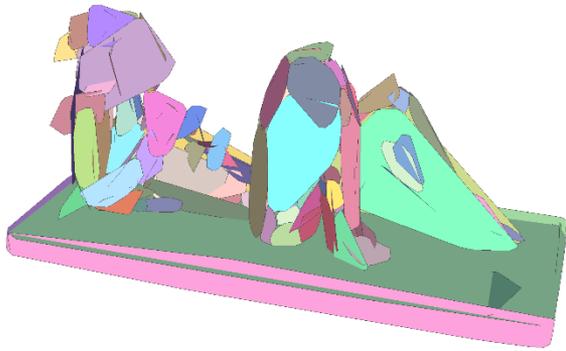


# Arrangements de plans cinétique (2020)

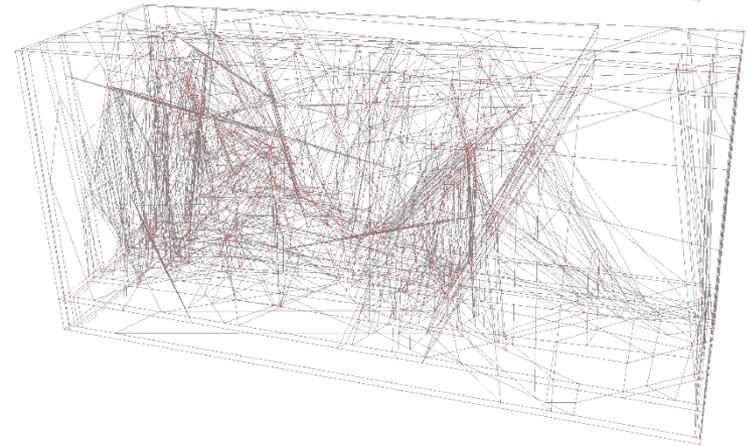
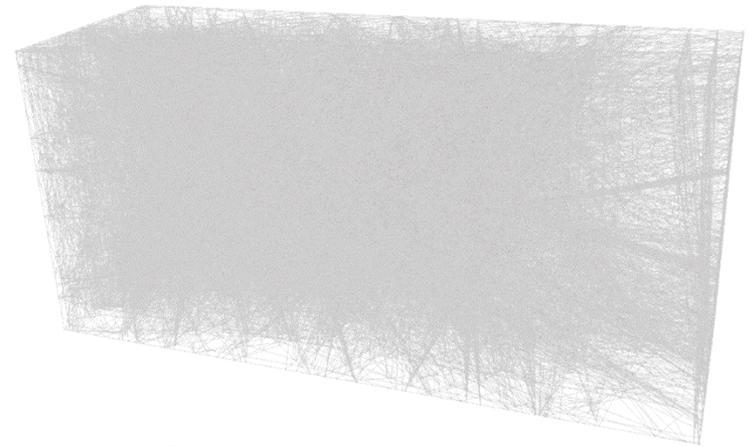
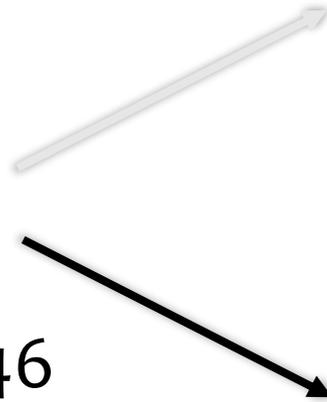
- **Construction exacte**  
calcul avec des rationnels
- **Traitement rapide des évènements**  
prédiction à court terme
- **Garanties géométriques**  
plongement valide, convexité..
- **Guidé par les données**  
propagation en cohérence avec  
les donnés



# Arrangements de plans cinétique (2020)



#formes planaires: 146



#polyèdres: ~~190K~~ 1.1K

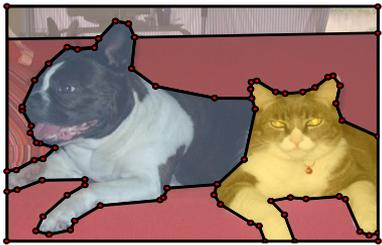
Temps de construction: ~~11min~~ 1.7min

Consommation mémoire: ~~6.4GB~~ 194MB

# Arrangements de plans cinétique : utilisation



SIG



Object polygonalization  
R. Marlet, CVPR2020

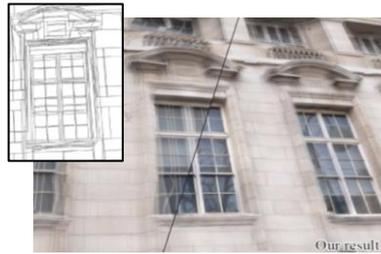


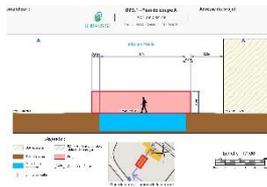
Image-based rendering  
G. Drettakis, CGF2019



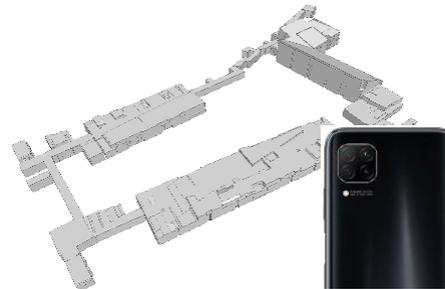
SLAM in adverse environments  
P. Alliez, IROS2020



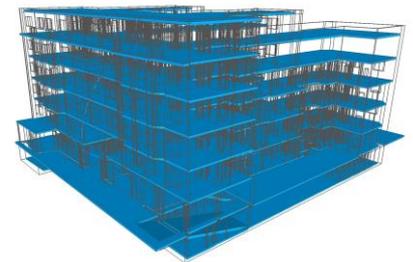
Drone-based reconstruction



Urban project  
design



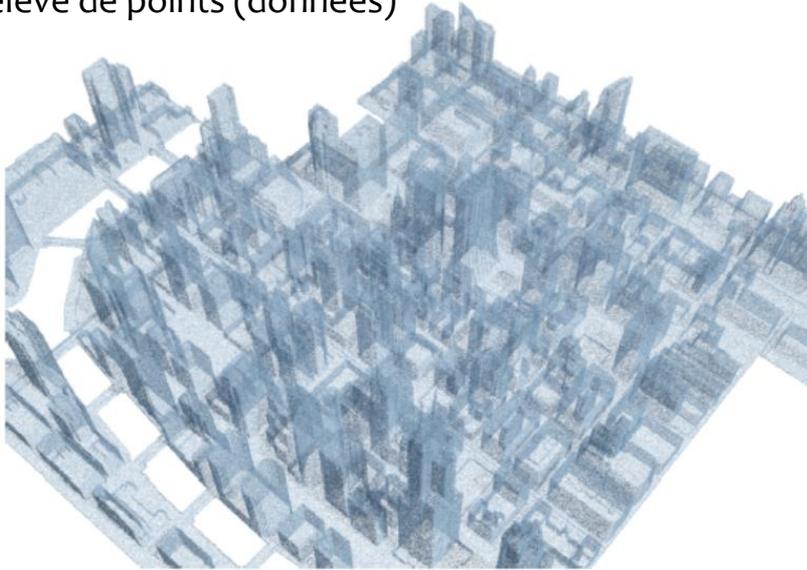
Indoor reconstruction



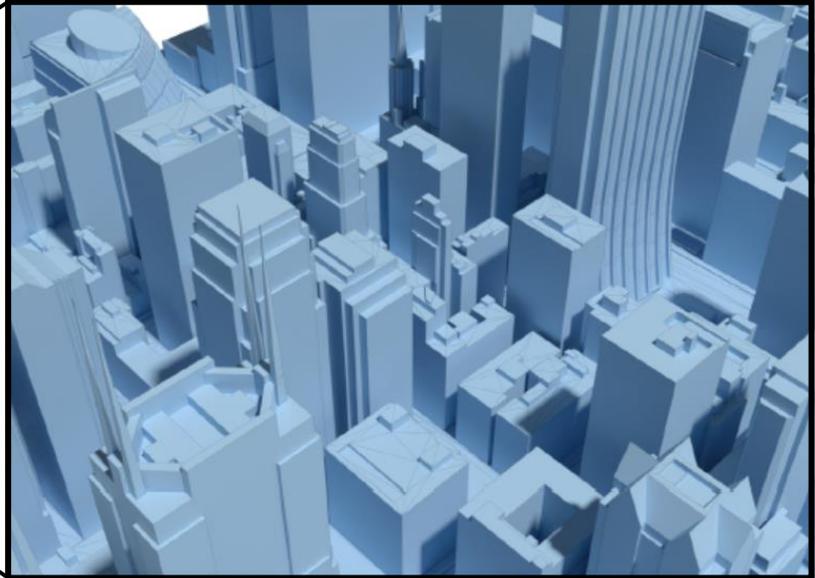
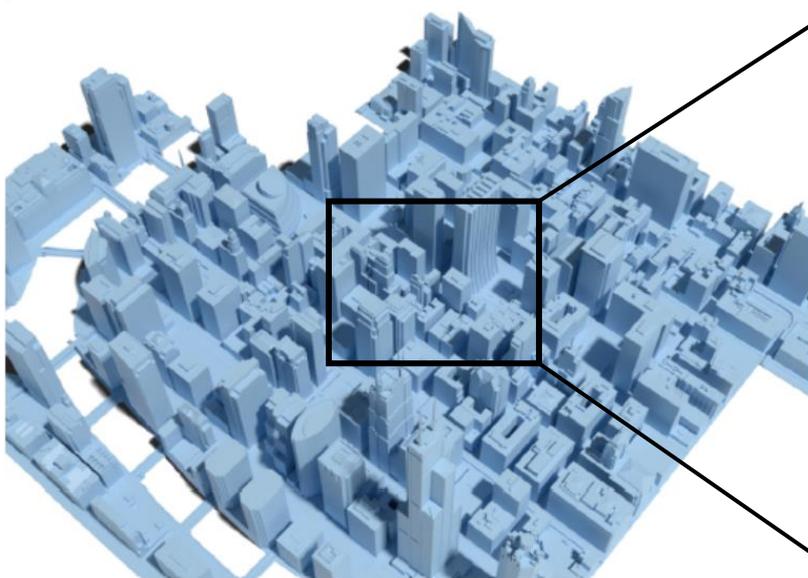
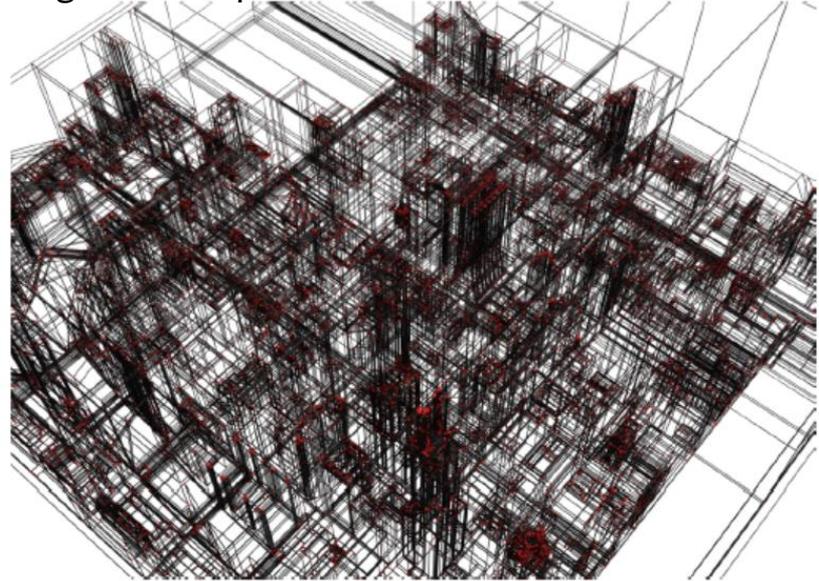
BIM model repairing

# Arrangements de plans hiérarchiques (2024)

relevé de points (données)

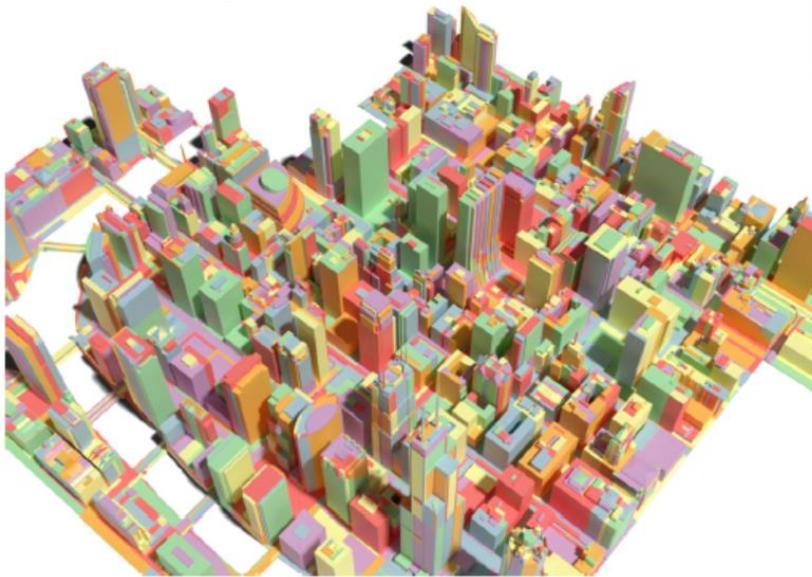


arrangement de plans



maillage reconstruit (sortie)

# Arrangements de plans hiérarchiques (2024)



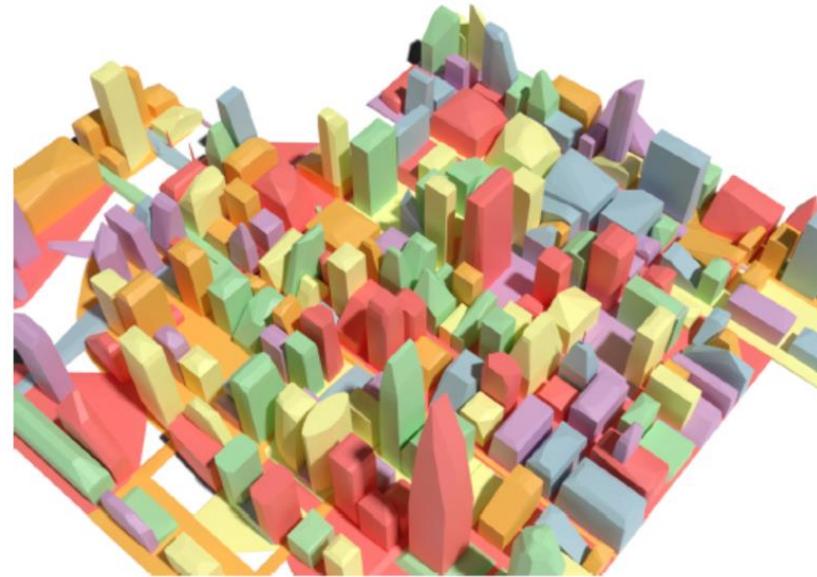
4951 polyèdres convexes



1000 polyèdres convexes



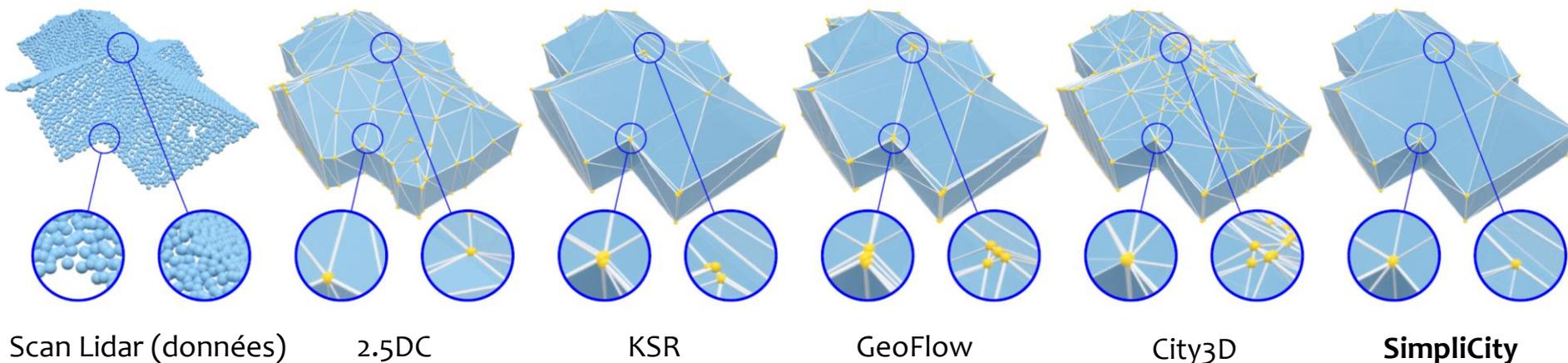
500 polyèdres convexes



250 polyèdres convexes

# SimpliCity (2024)

## Simplifier les arrangements une fois construits



2.5DC    Qian-Yi Zhou and Ulrich Neumann. 2.5 d dual contouring: A robust approach to creating building models from aerial lidar point clouds. In ECCV 2010

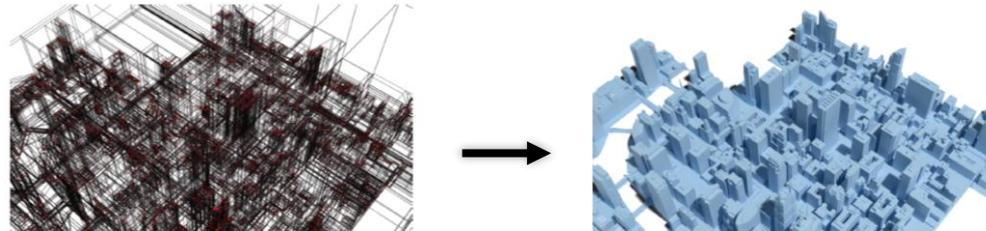
KSR    Jean-Philippe Bauchet and Florent Lafarge. Kinetic shape reconstruction. Trans. on Graphics, 39(5), 2020

GeoFlow    Ravi Peters, Balazs Dukai, Stelios Vitalis, Jordi van Liempt, and Jantien Stoter. Automated 3D Reconstruction of LoD2 and LoD1 Models for All 10 Million Buildings of the Netherlands. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 88 (3), 2022

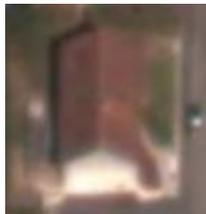
City3D    Jin Huang, Jantien Stoter, Ravi Peters, and Liangliang Nan. City3d: Large-scale building reconstruction from airborne lidar point clouds. Remote Sensing, 14(9), 2022

# Et le deep learning ?

**Incontournable** : prédiction de l'occupation spatiale des objets (eg NeRFs, 3D Gaussian Spatting)



**Intéressant** : détection de formes planaires dans des conditions difficiles, e.g. imagerie satellitaire mono-vue



donnée

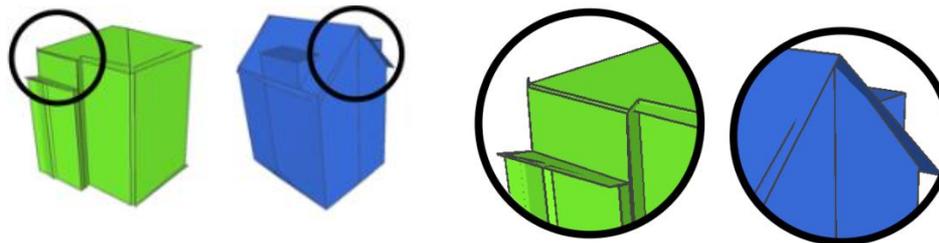


Segmentation des sections de toits



Estimation 3D des sections

**Incertain** : reconstruction de maillages compacts par des approches end-to-end



**Merci pour votre attention**

