

# MODÉLISATION GÉOMÉTRIQUE DE SCÈNES URBAINES AVEC LE FORMALISME LOD2 À PARTIR D'IMAGES SATELLITES

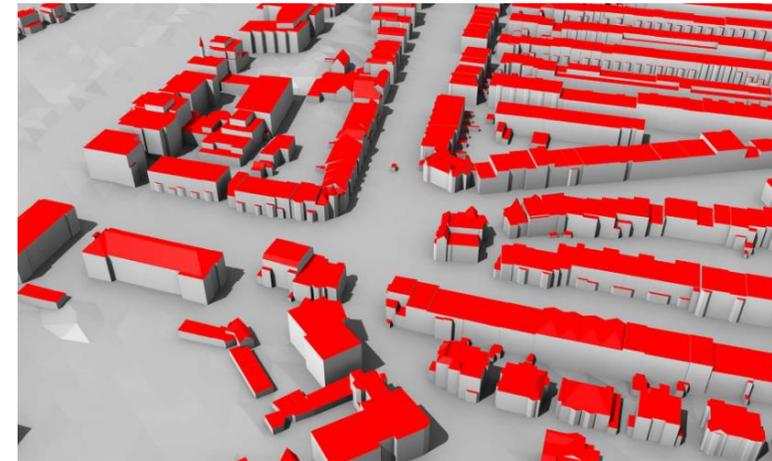
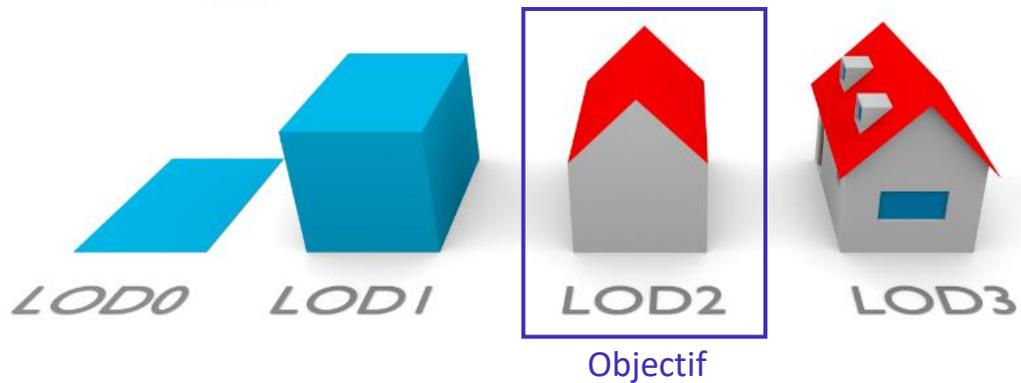
Directeur de thèse : Florent Lafarge (INRIA)  
Responsable CNES : David Youssefi

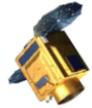
MARION BOYER  
26/11/2024

- Demande croissante de modèles 3D (simulation, urbanisme...)
- Satellite : meilleure couverture, fréquence et coût

**Objectif** : reconstruction en niveau de détail LoD2

Levels of Details (LoDs) :





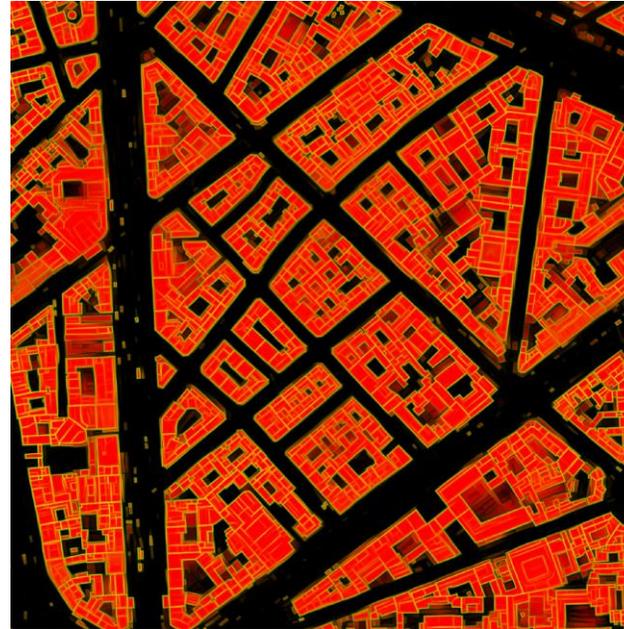
- Images Pléiades Neo



Résolution : 30 cm  
1 bande panchromatique  
6 bandes multispectrales

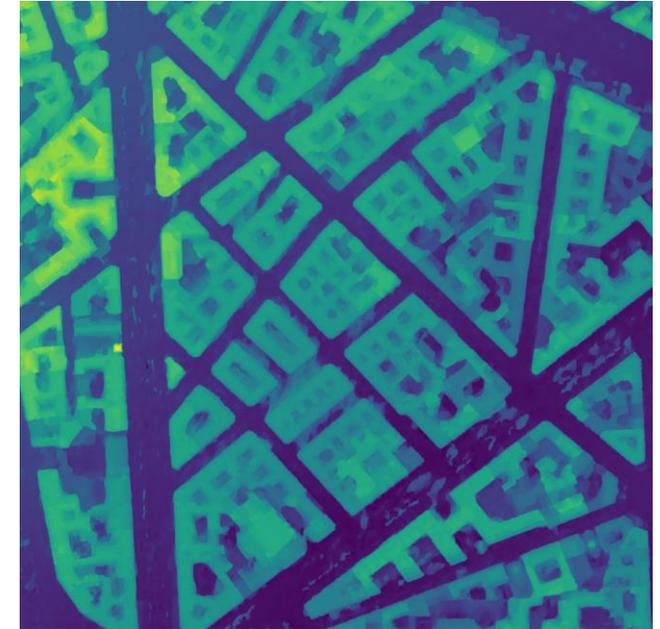
Paris

- Informations sémantiques



 Bâtiments  
 Bords de bâtiments

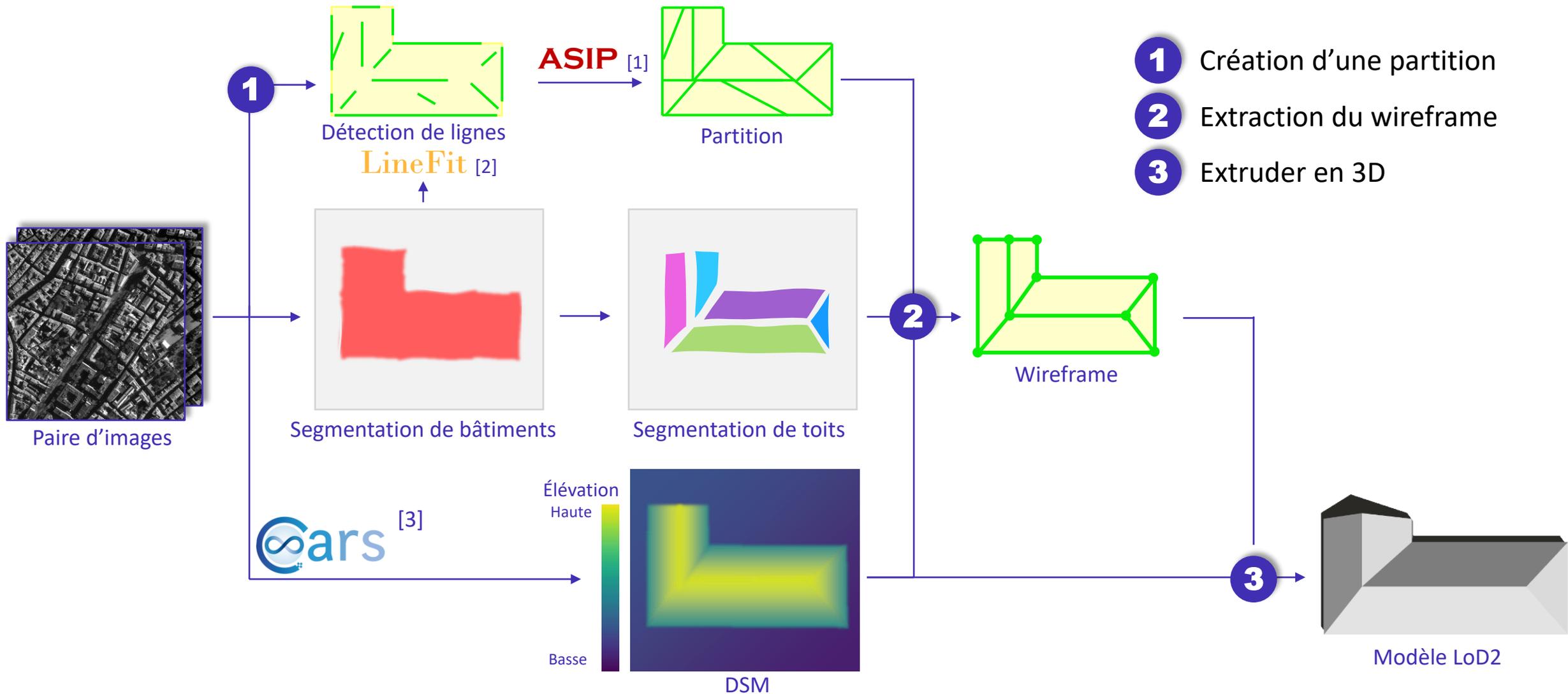
- Informations 3D



Basse  Haute  
Élévation  
Modèle Numérique de Surface (MNS)

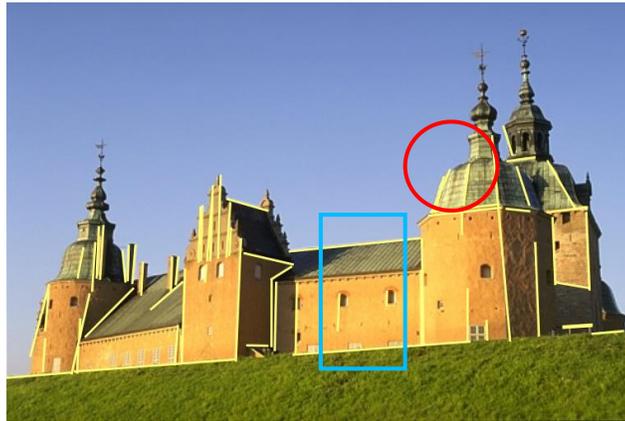
# PIPELINE GÉNÉRAL

## CHAÎNE DE RECONSTRUCTION 3D

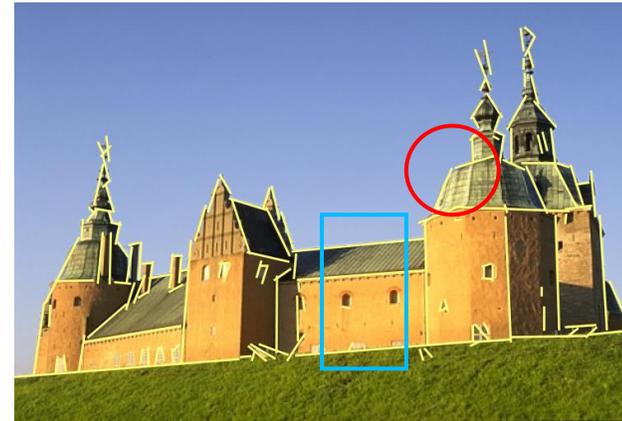


→ Détecter des segments de droites dans les images

- Structures **linéaires**
- Formes **courbes**



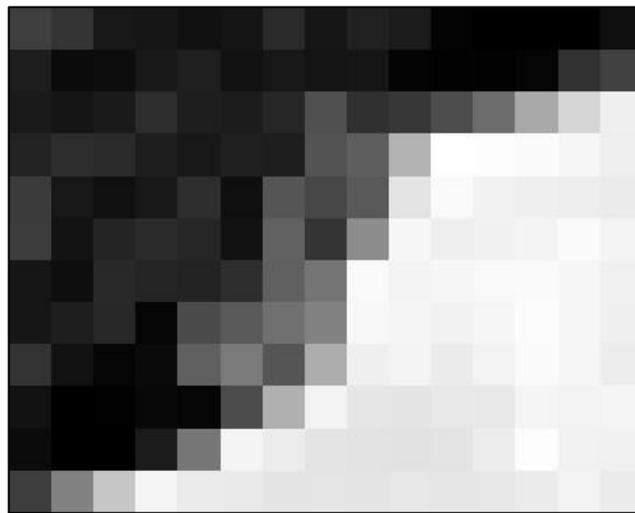
DeepLSD [1]



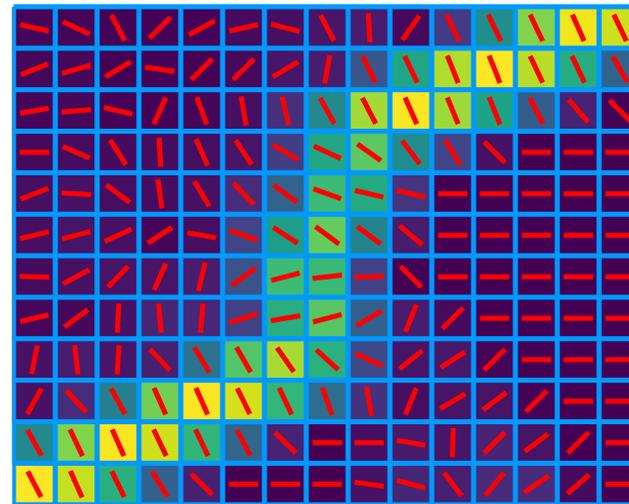
Ours (LineFit)

→ Problème d'optimisation : on veut trouver la meilleure configuration de lignes par rapport aux données utilisées

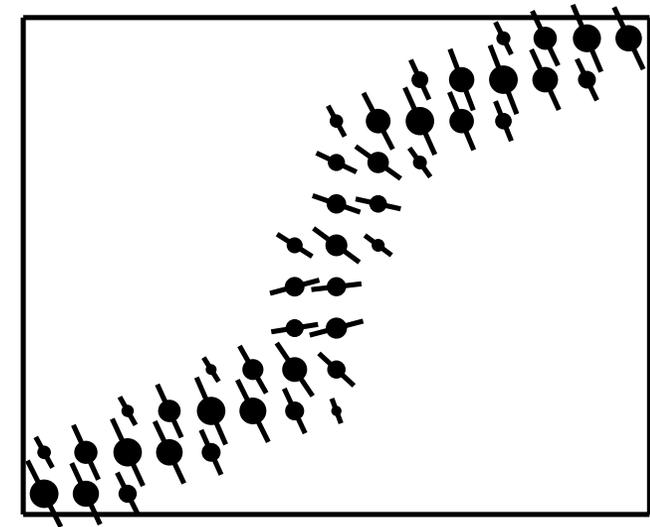
→ Ensemble des points dont les coordonnées sont les centres des pixels d'intérêt.



Image



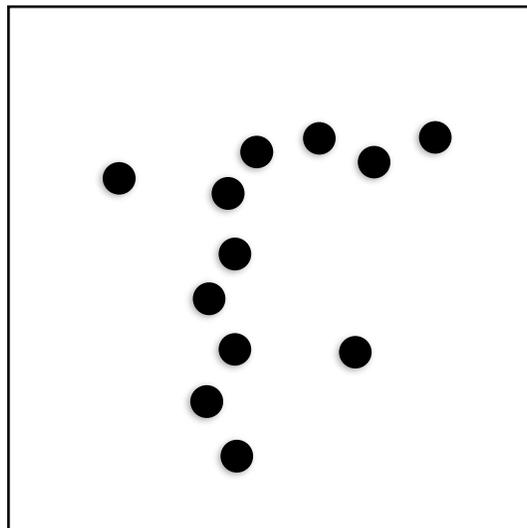
Gradient



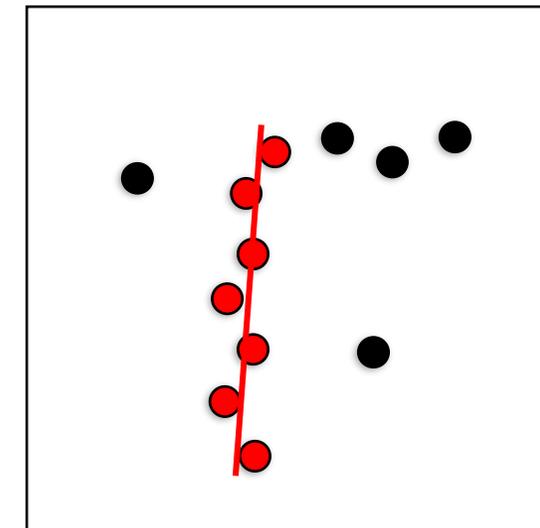
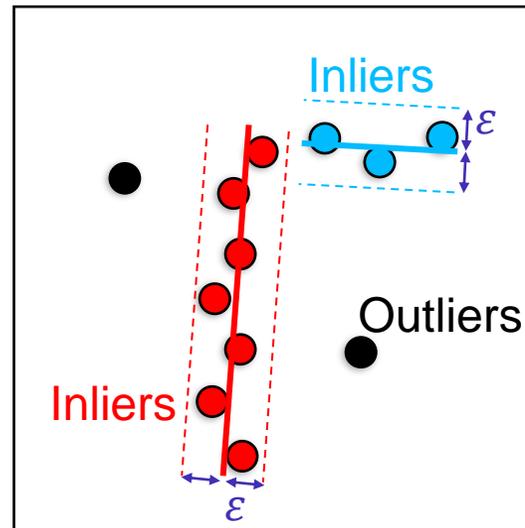
Nuage de points 2D

# ASSOCIATION POINTS/LIGNES

- Association des points à une ligne
  - **Inlier** si associé
  - **Outlier** sinon
- Critères d'association :
  - Distance maximum à la ligne de  $\epsilon$
  - Nombre minimum d'inliers  $\sigma$  pour une ligne

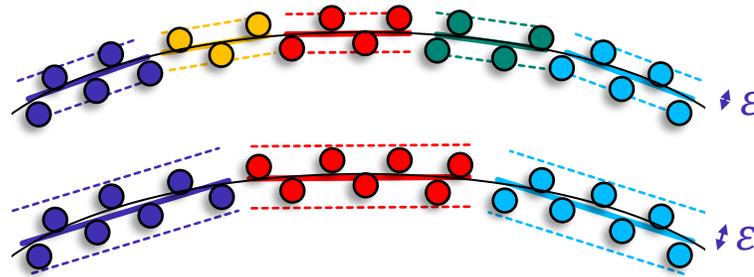


Nuage de points 2D

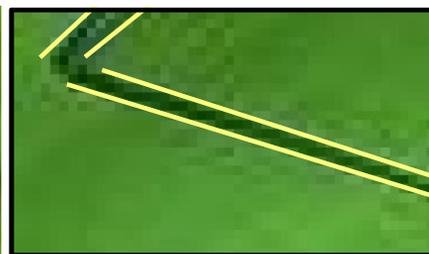
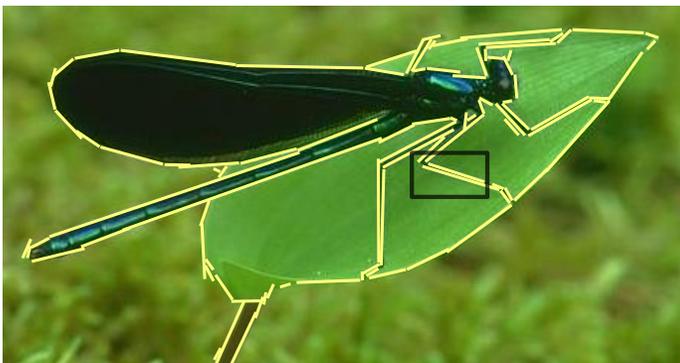


$\sigma = 5$

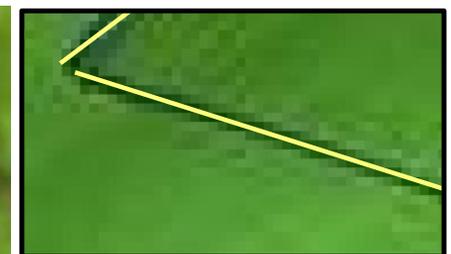
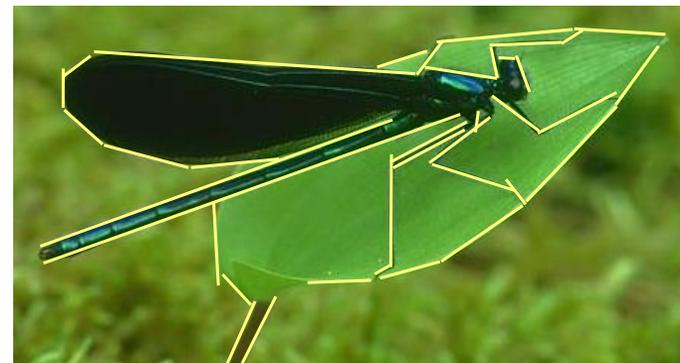
- $\epsilon$  contrôle le niveau d'approximation des formes courbes



- La paire  $(\epsilon, \sigma)$  définit le niveau de détail de la détection de lignes



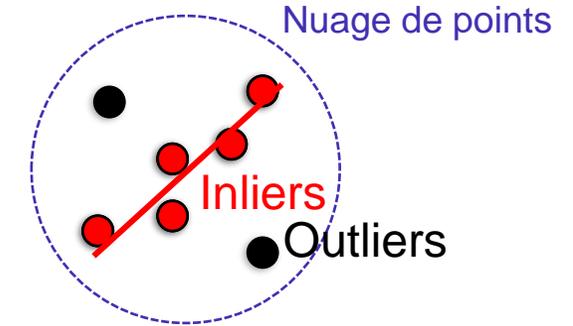
$\epsilon = 2, \sigma = 10$



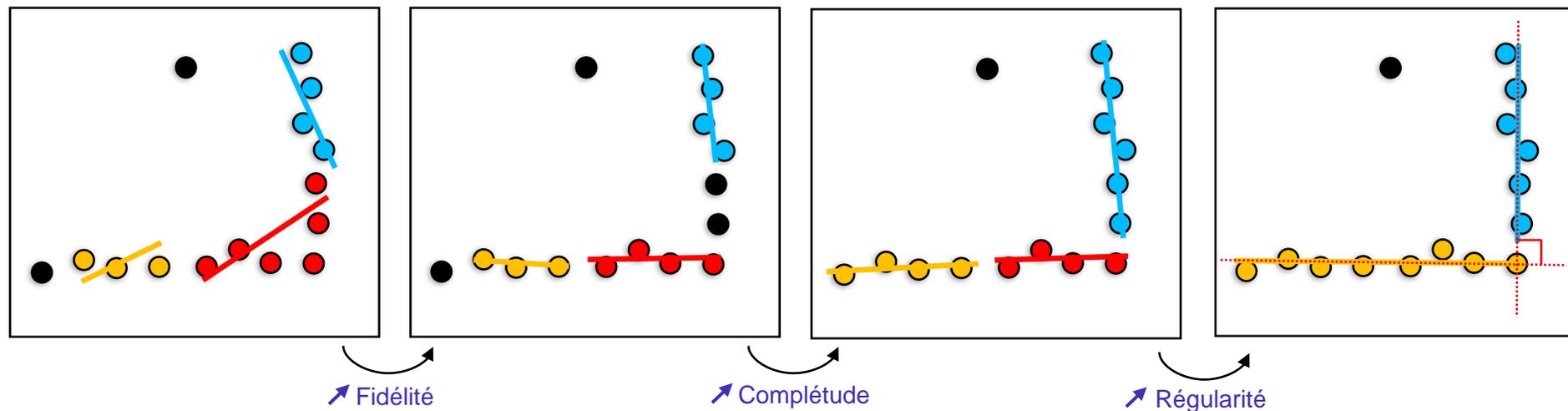
$\epsilon = 7, \sigma = 30$

Qu'est ce qu'une bonne configuration ?

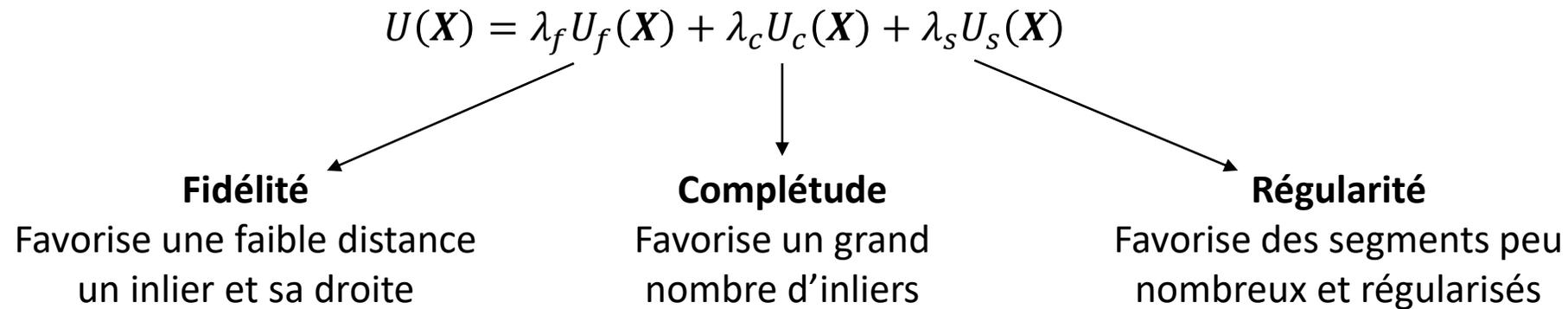
- **Fidélité** : minimiser la distance entre les inliers et les droites
- **Complétude** : maximiser nombre d'inliers total
- **Régularité** : minimiser le nombre de segments et encourager le parallélisme, l'orthogonalité et la colinéarité des segments



→ Compromis entre ces trois objectifs



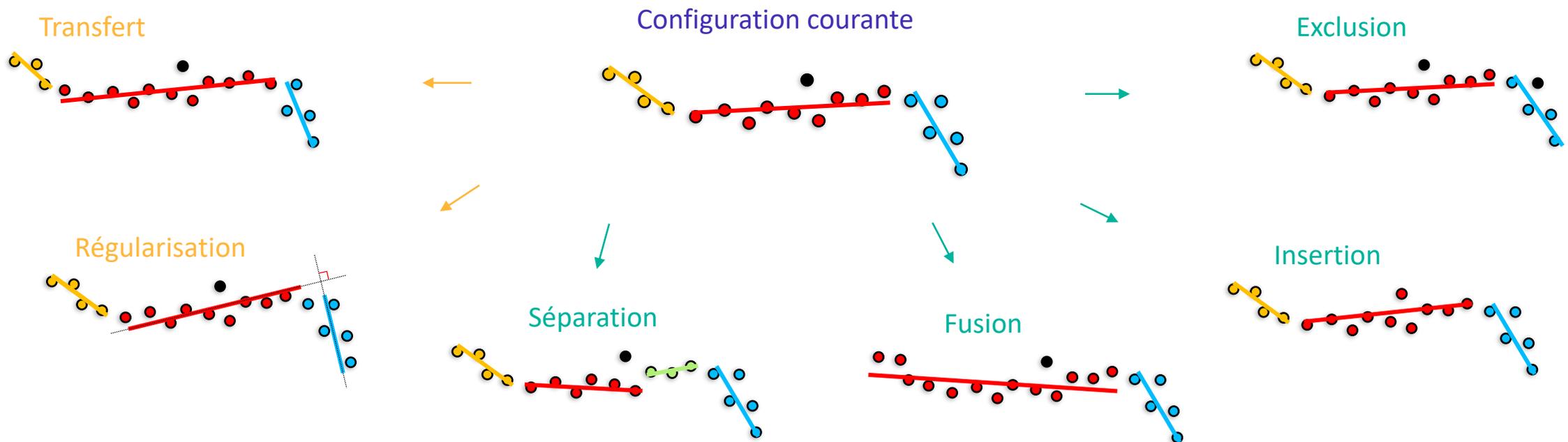
- Mesure de la qualité de la configuration  $\mathbf{X} = (\mathbf{s}, \mathbf{l})$  avec l'énergie  $U$  :



Avec  $\mathbf{s}$  : variable continue, équations des droites

$\mathbf{l}$  : variable discrète, labels inlier/outlier

- Départ : configuration initiale
- Mécanisme d'exploration : on applique itérativement l'opérateur géométrique qui décroît le plus l'énergie.
  - Opérateurs locaux : modifie un ou deux segments
  - Opérateurs globaux : toute la configuration peut être modifiée



- Mesures utilisées :

### Précision (AP)

Proportion de bonnes détections  
parmi toutes détections

### Recall (AR)

Proportion de bonnes détections  
par rapport à la vérité terrain

### F-score (AF)

Moyenne (harmonique)  
entre Precision et Recall

### Degré de liberté (DoF)

Nombre de degré de liberté  
dans la configuration

- Datasets :

- Structures linéaires



YorkUrban [1],[2]

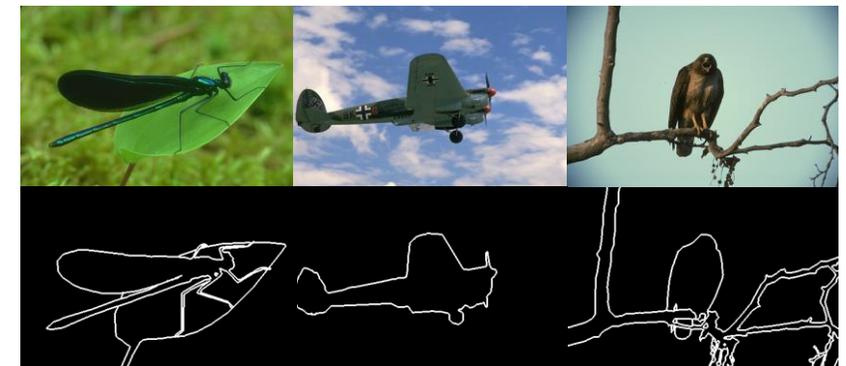


RoofSat

- 550 images, 550x550
- 11 images PléiadesNeo, 30cm de résolution
- 5650 bâtiments individuels, 148 blocs de bâtiments

- Formes courbes

BSDS500 [3]



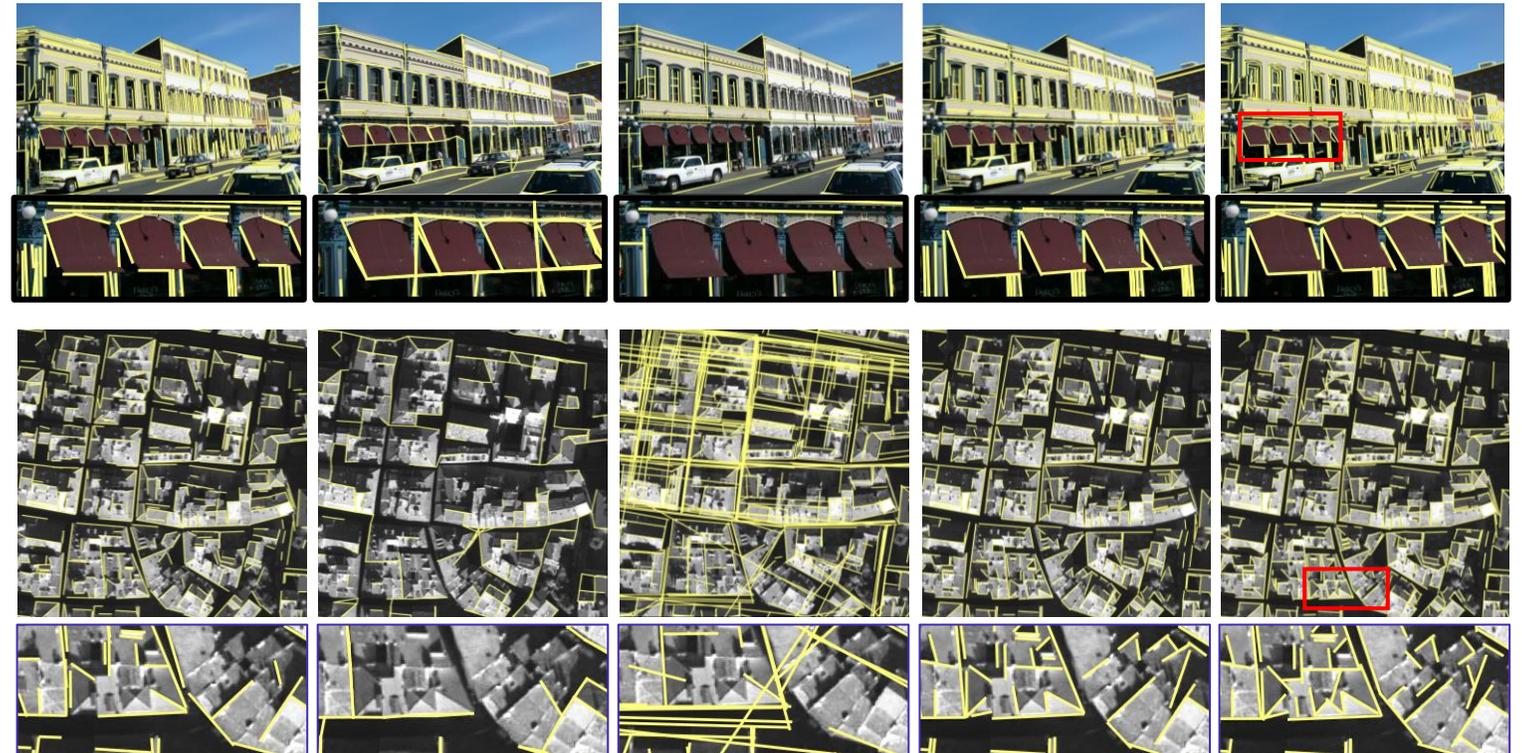
- Structure linéaires

|        | YorkUrban |      |             |             |             |             |
|--------|-----------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|        | ELSEED    | HAWP | LETR        | DeepLSD     | Ours        | Ours*       |
| AP(↑)  | 48,2      | 39,2 | 41,3        | 51,0        | <b>52,0</b> | <u>51,3</u> |
| AR(↑)  | 39,8      | 17,6 | <u>40,4</u> | 40,2        | <b>41,5</b> | 40,2        |
| AF(↑)  | 42,7      | 23,5 | 39,7        | <u>44,6</u> | <b>45,7</b> | 44,5        |
| DoF(↓) | 82,8      | 90,5 | 83,9        | <u>79,9</u> | 81,1        | <b>47,1</b> |
| #lines | 374       | 227  | 357         | 354         | 388         | 414         |

|        | RoofSat     |             |      |             |             |             |
|--------|-------------|-------------|------|-------------|-------------|-------------|
|        | ELSEED      | HAWP        | LETR | DeepLSD     | Ours        | Ours*       |
| AP(↑)  | 39,1        | <u>45,4</u> | 21,3 | <b>48,9</b> | 42,1        | 41,8        |
| AR(↑)  | <u>38,2</u> | 31,2        | 30,0 | 34,4        | <b>39,0</b> | 36,8        |
| AF(↑)  | 35,2        | 35,4        | 18,2 | 36,3        | <b>37,9</b> | <u>36,4</u> |
| DoF(↓) | <u>95,6</u> | 96,8        | 96,1 | 96,6        | 96,2        | <b>57,8</b> |
| #lines | 282         | 227         | 228  | 196         | 297         | 288         |

\*Avec régularisation

- Meilleur Recall grâce au critère de complétude
- Bonne précision
- F-score compétitif
- Régularité réduit nombre de degré de liberté mais dégrade légèrement le Recall et la Précision



ELSEED [1]

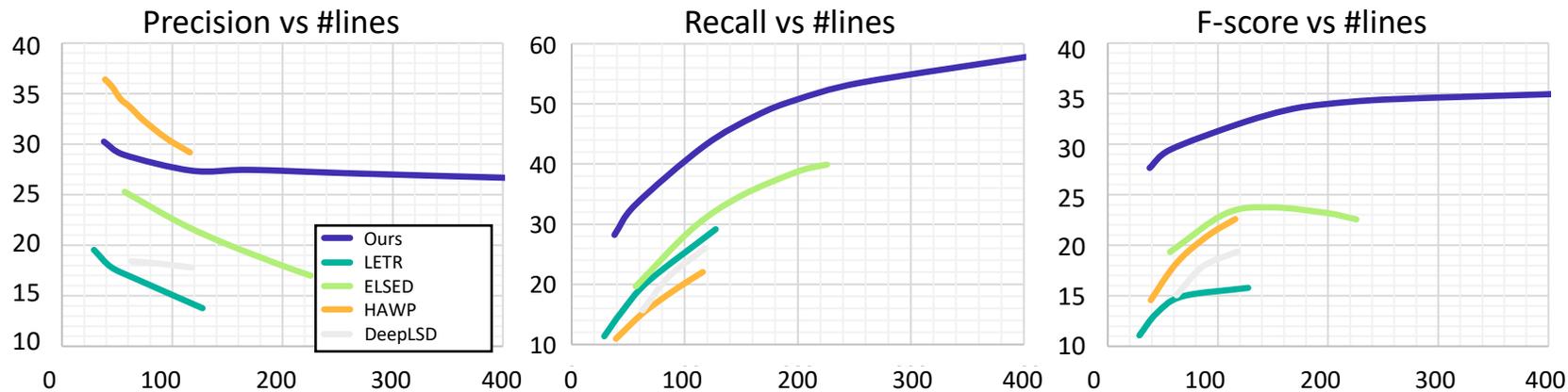
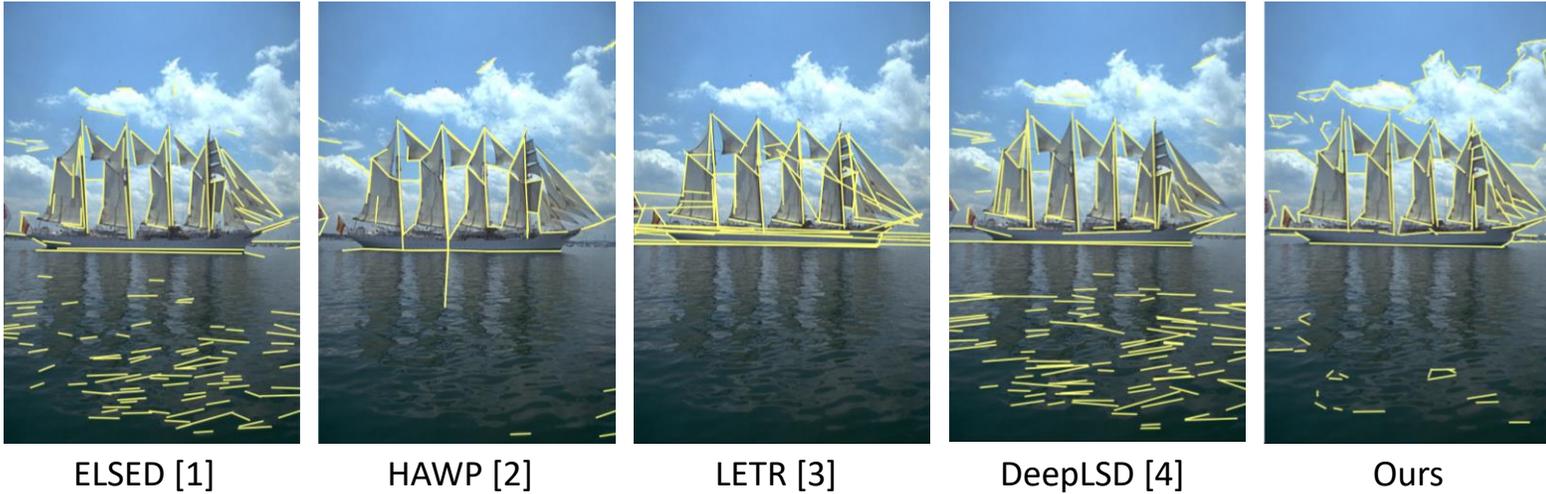
HAWP [2]

LETR [3]

DeepLSD [4]

Ours

- Formes courbes



- Pas de régularité
- Meilleurs résultats pour chaque métrique
- Grande variation du nombre de segment grâce aux critères de fitting ( $\epsilon, \sigma$ )

# APPLICATION DE LINEFIT

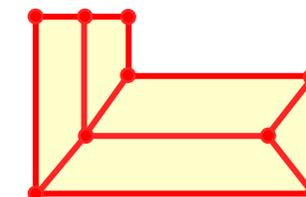
DÉTECTION DE LIGNES



Détection de lignes

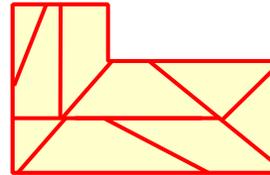


Partition



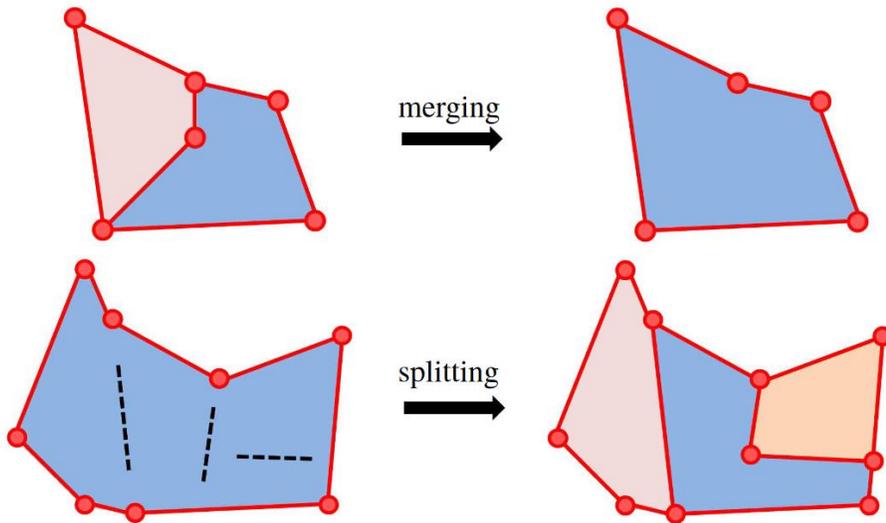
Wireframe

→ Associer un plan à chaque face de la partition



Partition

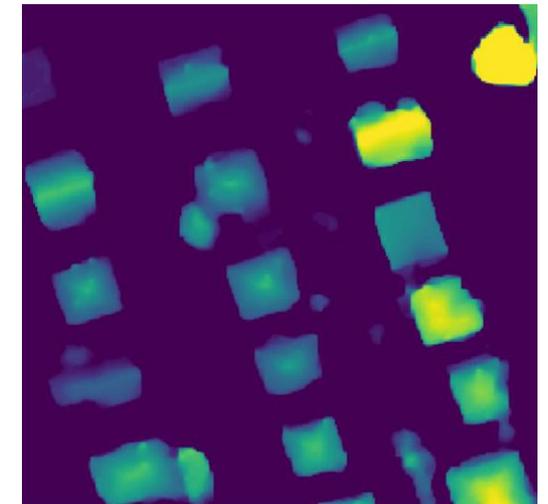
→ Utiliser des opérateurs pour modifier la partition



→ Utiliser les informations de la carte de segmentation de toits et du DSM pour être fidèle aux deux



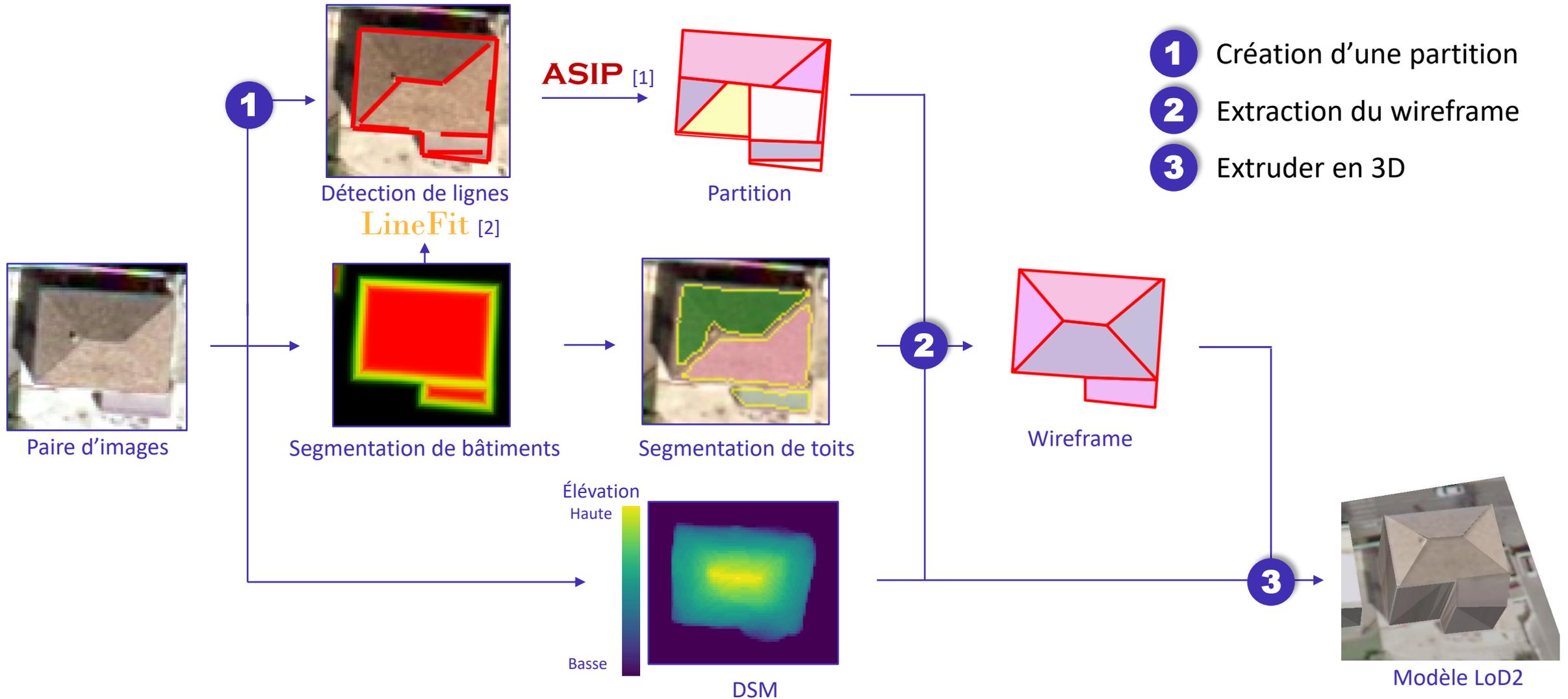
Segmentation de toits



DSM

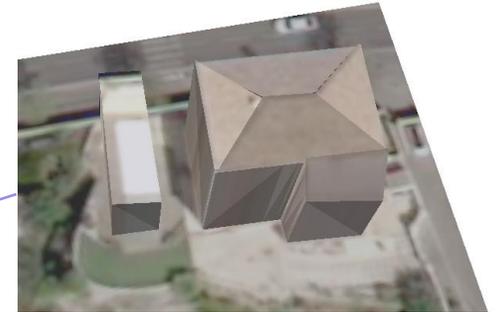
# PIPELINE GÉNÉRAL

## CHAÎNE DE RECONSTRUCTION 3D



# RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES LOD2

CONCLUSION



- Détection de lignes
  - LineFit : optimisation d'énergie et mécanisme d'exploration
  - RoofSat : dataset de lignes par images satellite
  - Article ECCV2024
- Wireframe
  - Fidélité au DSM et à la segmentation de toits
  - Raffiner les partition en utilisant des opérateurs de regroupement/séparation



LineFit software and  
RoofSat dataset

MERCI