

Géoréférencement indirect d'un véhicule de cartographie mobile hybride

Bruno Vallet – IGN – UMR LaSTIG – Equipe ACTE

Introduction

Introduction

- **La cartographie mobile (mobile mapping), qu'est ce que c'est ?**
 - **Numérisation très haute résolution au niveau du sol :**
 - **Image et/ou laser**
 - **Plateforme terrestre en déplacement (voiture, train, bateau,...)**
 - **Nécessite un système de géoréférencement pour localiser les données**

Introduction

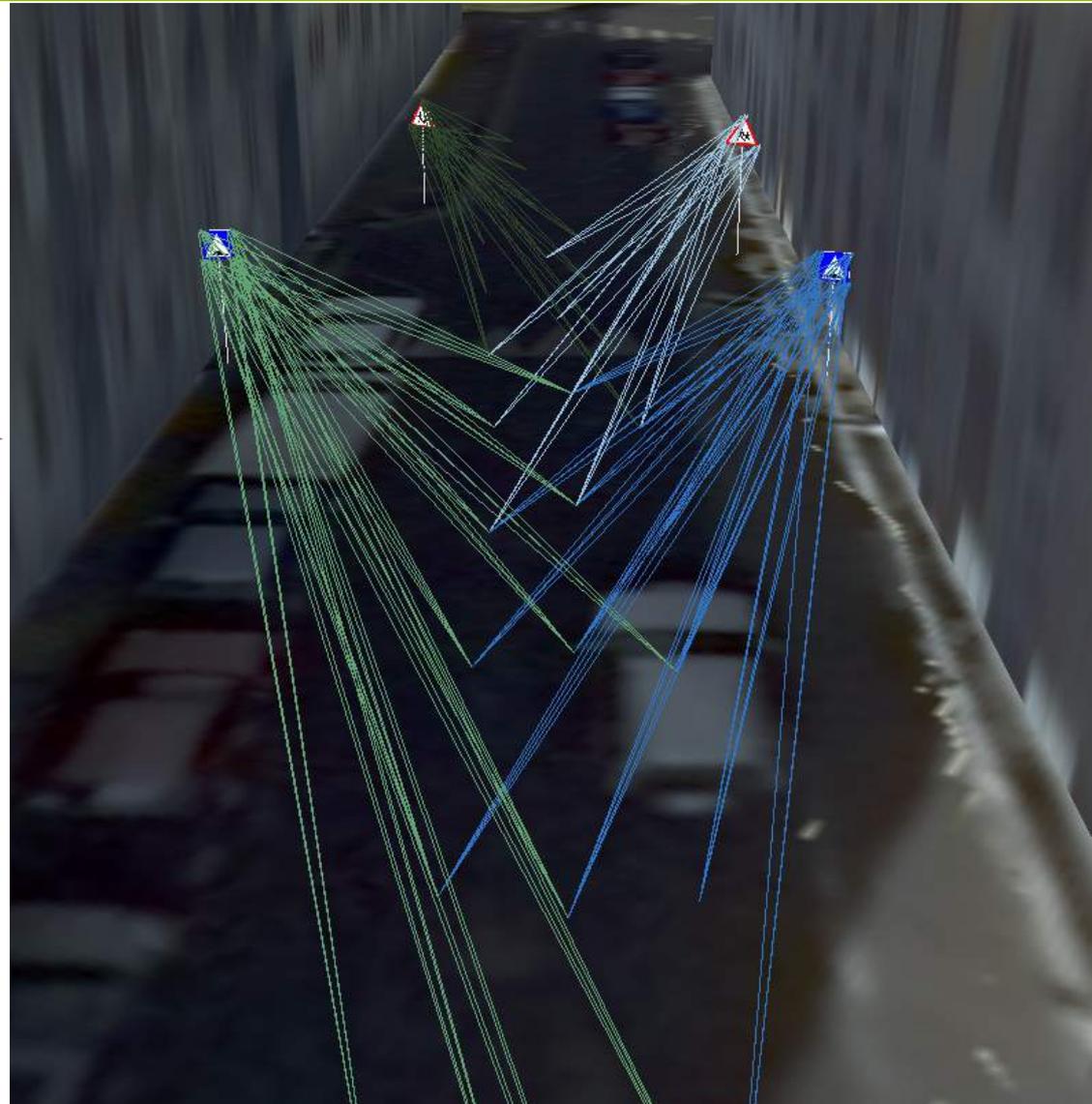
- **Essor important depuis une dizaine d'années:**
 - **Limite atteinte de résolution des capteurs aéroportés :**
 - Il faut se rapprocher de la scène
 - **Augmentation des capacités de stockage et traitement**
 - **Apparition de capteurs dédiés au mobile mapping :**
 - Centrales inertielles
 - Imagerie panoramique
 - Laser spécialisé

Applications

- **Cartographie 3D très haute résolution :**
 - **Aide à l'aménagement**
 - **Inventaire pour les services gestionnaires de la voirie**
 - **Plans de corps de rue pour les gestionnaires de réseaux enfouis**
 - **Calculs d'itinéraires pour les mobilités douces**
 - **Diagnostiques d'accessibilité PMR**
- **Détection de changements :**
 - **Enquêtes de stationnement**
 - **Cartographie des flux**

Applications haut niveau

- Simulation
- Communication
- Relevés 3D « au bureau »
- Base d'amers visuels pour la localisation (véhicule autonome) →



Verrous

- **Volume de données**
 - **Images : 500 Go / heure**
 - **Laser : 50Go / heure**
- **Complexité des scènes :**
 - **Vraie 3D**
 - **2.5D impossible**
 - **occultations**
 - **Objets mobiles**
 - **Détection**
 - **Filtrage**
 - **Radiométrie**
 - **forte dynamique**
 - **reflets**

Verrous

- Localisation
 - **GPS très perturbé en zone urbaines :**
 - Peu de satellites visibles
 - Multitrajets
- Géométrie d'acquisition
 - **Capteur en déplacement dans la scène**
- Résolution :
 - **Variable : dépend de la vitesse du véhicule**
 - **Anisotrope**

Acquisition de données

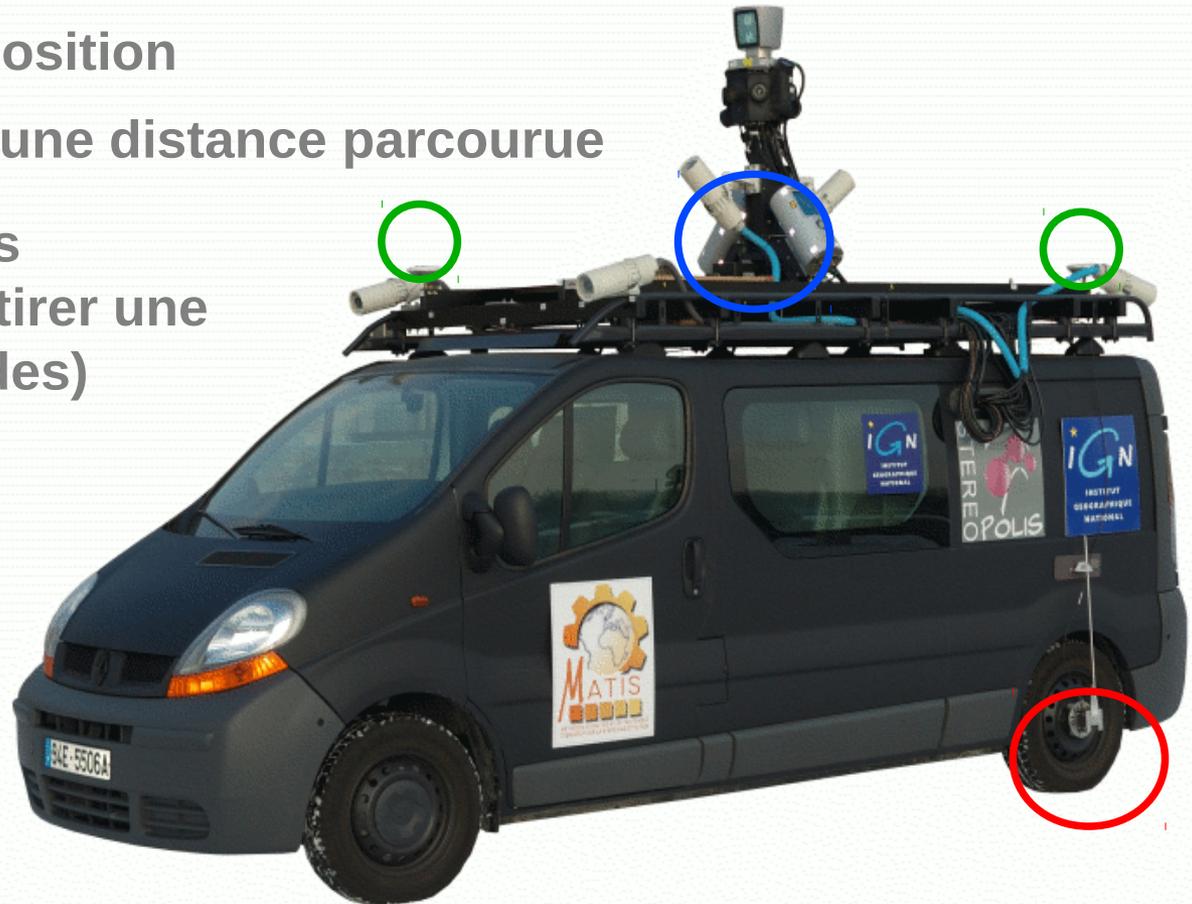
Capteurs

- Un système de cartographie mobile combine des capteurs :
 - Géopositionnement
 - Image
 - Laser



Capteurs de géopositionnement

- 3 types de capteurs:
 - **Centrale Inertielle** : mesure des accélérations
 - **GPS** : mesure une position
 - **Odometre** : mesure une distance parcourue
- Un calcul combine ces informations pour en tirer une trajectoire (+incertitudes)
- A quel point peut on s'y fier ?



Capteurs laser

- 2 types de capteurs:

- **Laser plan** : scanne un secteur angulaire (maintenant 360°) d'un plan fixe par rapport au véhicule
- **Laser rotatif**: scanne un secteur angulaire (environ 40°) d'un plan en rotation rapide par rapport au véhicule



Laser plan

- La scène est balayée par le plan



Laser plan

Résultat : pas qu'un nuage de points

- Pour chaque écho:
 - **Temps**
 - **Range, theta, phi :**
 - convertis en (x,y,z) dans le repère du capteur
 - Puis dans un référentiel géographique en utilisant la trajectoire (+t)
 - **Amplitude** du signal retour (proche infrarouge)
 - **Reflectance**
 - Amplitude recue / Amplitude qu'une cible Lambertienne (à la même distance) aurait renvoyé
 - Exprimée en dB
 - Indépendante du range

Capteurs laser



0dB

-20dB

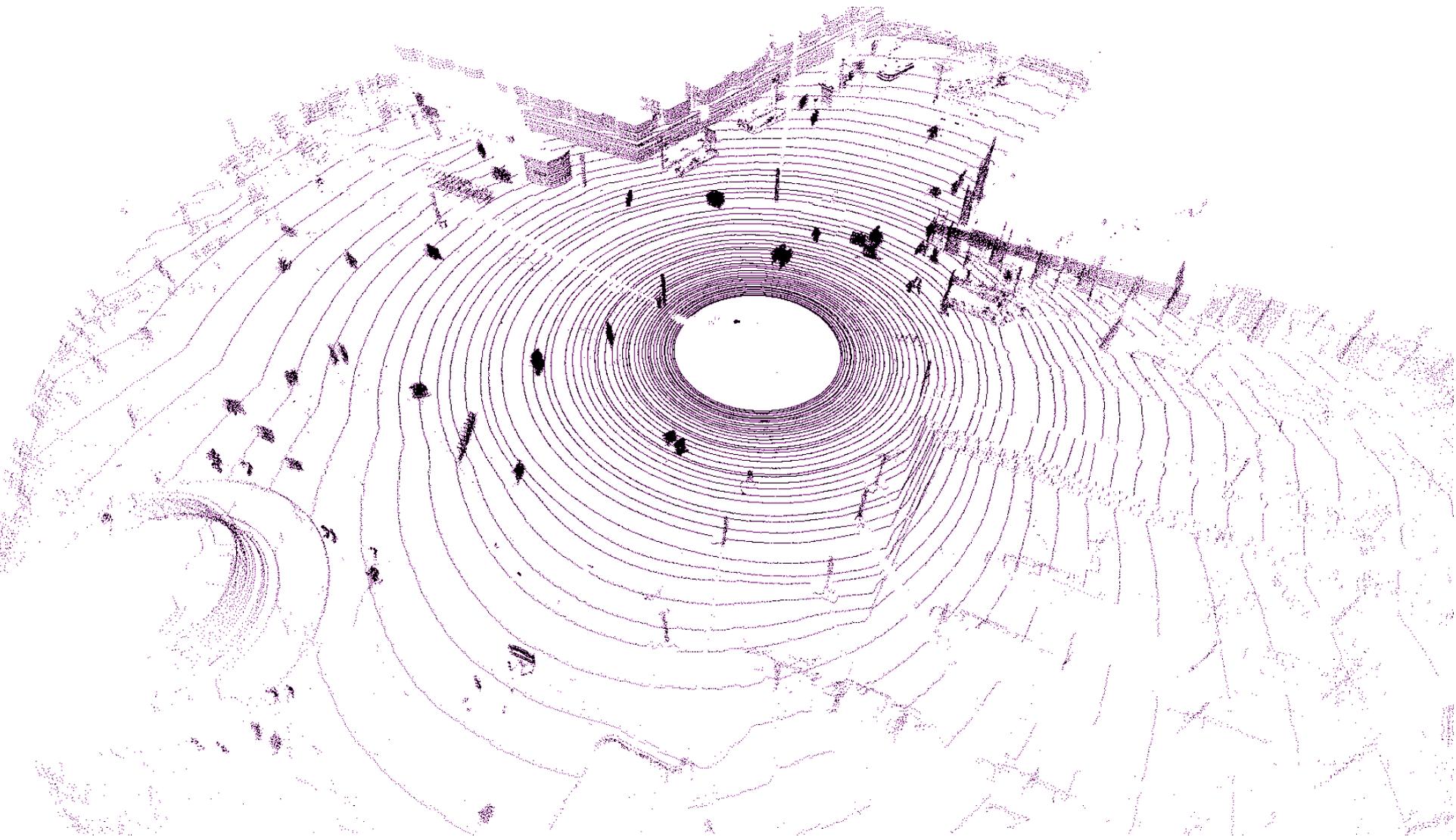


Laser rotatif

- Le secteur angulaire tourne (~10Hz)



Capteurs laser

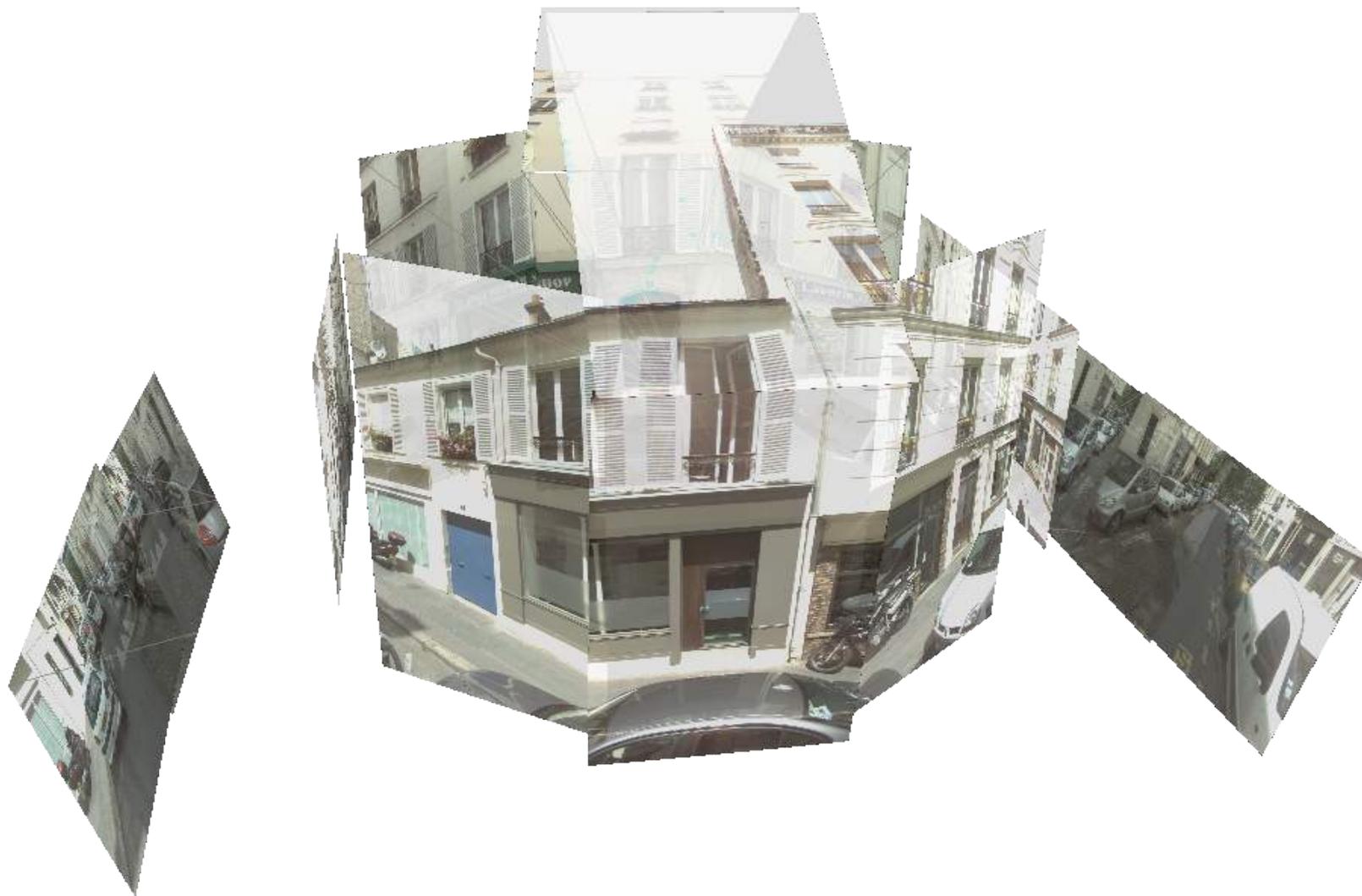


Capteurs image

- Caméras : **panoramique** et paires stéréoscopiques **avant** et **arrière**
 - Acquisition tous les 5m



Capteurs image



Capteurs image



Systeme d'acquisition

- Les capteurs doivent être calibrés
- Un système embarqué pour contrôler l'acquisition
 - Démarrer/arrêter tous les capteurs
 - Synchronisation des déclenchements caméra
 - Alertes
 - Stockage des données sur disques durs
- Post-traitements
 - Calcul trajectographique
 - Remise en géométrie du nuages de point
 - Orientation des images
 - Débayerisation

Tendances

- Miniaturisation : Camion > Voiture > Scooter > Sac à dos



Géoréférencement/recalage

Caractéristiques

- Type de données :
 - image, laser ou les deux ?
 - Utilisation de données externes :
 - image aérienne ou orthoimage
 - points d'appuis
 - modèles 3D
 - bases de données topographiques
 - cartes

Caractéristiques

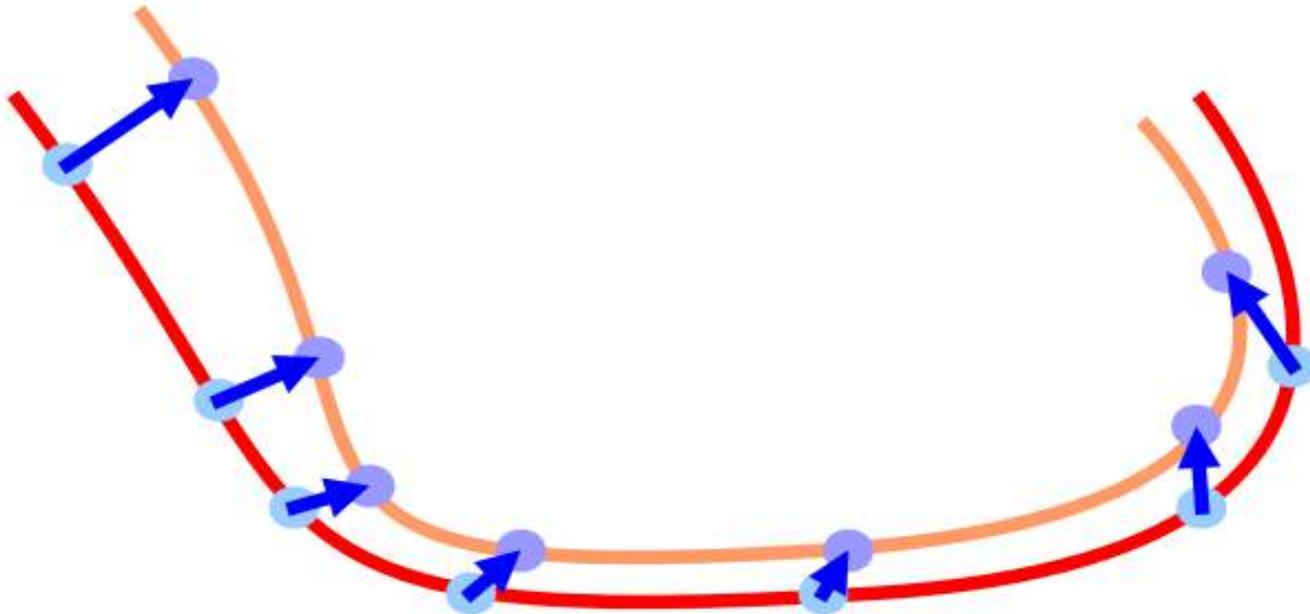
- **Relatif vs absolu :**
 - **Relatif : mettre en cohérence la donnée**
 - **Passages dans la même rue**
 - Mêmes sens
 - sens inverse
 - **Intersections**
 - **Absolu :**
 - **garantir le géoréférencement de la donnée**
 - **Permet de travailler avec d'autres sources de données**

Caractéristiques

- **Modèle de déformation :**
 - **Image : réestimer les poses**
 - **Laser :**
 - **Blocs rigides : pas de continuité entre les blocs**
 - **Non rigide : le nuage de points est déformé en réestimant toute la trajectoire du véhicule**

Caractéristiques

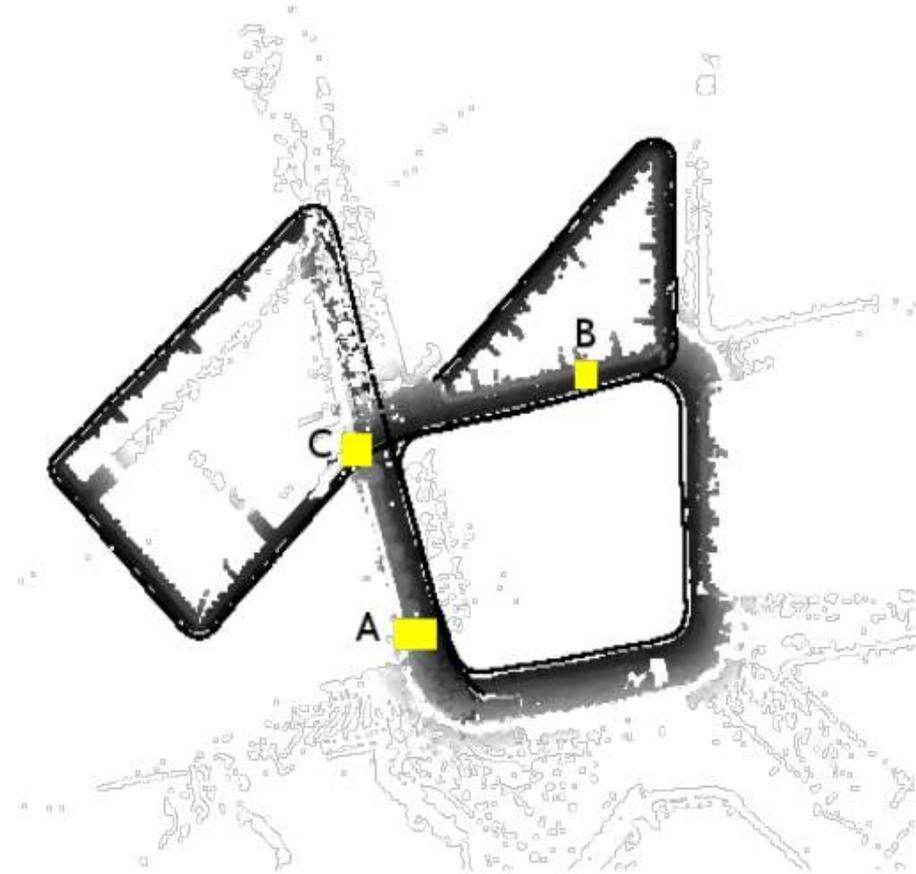
- **Recalage non rigide**
 - **Besoin de déformer la trajectoire du véhicule**
 - **Poses de contrôle réparties dans le temps**
 - **Interpolation (linéaire, cubique) entre les poses**



Mesure de distance / erreur

- Recaler nécessite de minimiser une mesure de distance entre données
 - Cette distance se base parfois sur des **appariements** (mises en correspondance de primitives) entre les données à recaler
- Image / Image :
 - **Points d'intérêt** (Harris, SIFT, SURF) très caractéristiques
 - **Objets connus** (marquages au sol, panneaux, ...)
- Image / Laser:
 - **Basé sur la radiométrie (RGB-Reflectance) : maximisation de**
 - La corrélation
 - L'information mutuelle
 - **Basé sur la géométrie**
 - Reconstruction d'un nuage de points par photogrammétrie
 - Minimisation d'une distance entre nuages de points

Mesure de distance / erreur



Mesure de distance / erreur

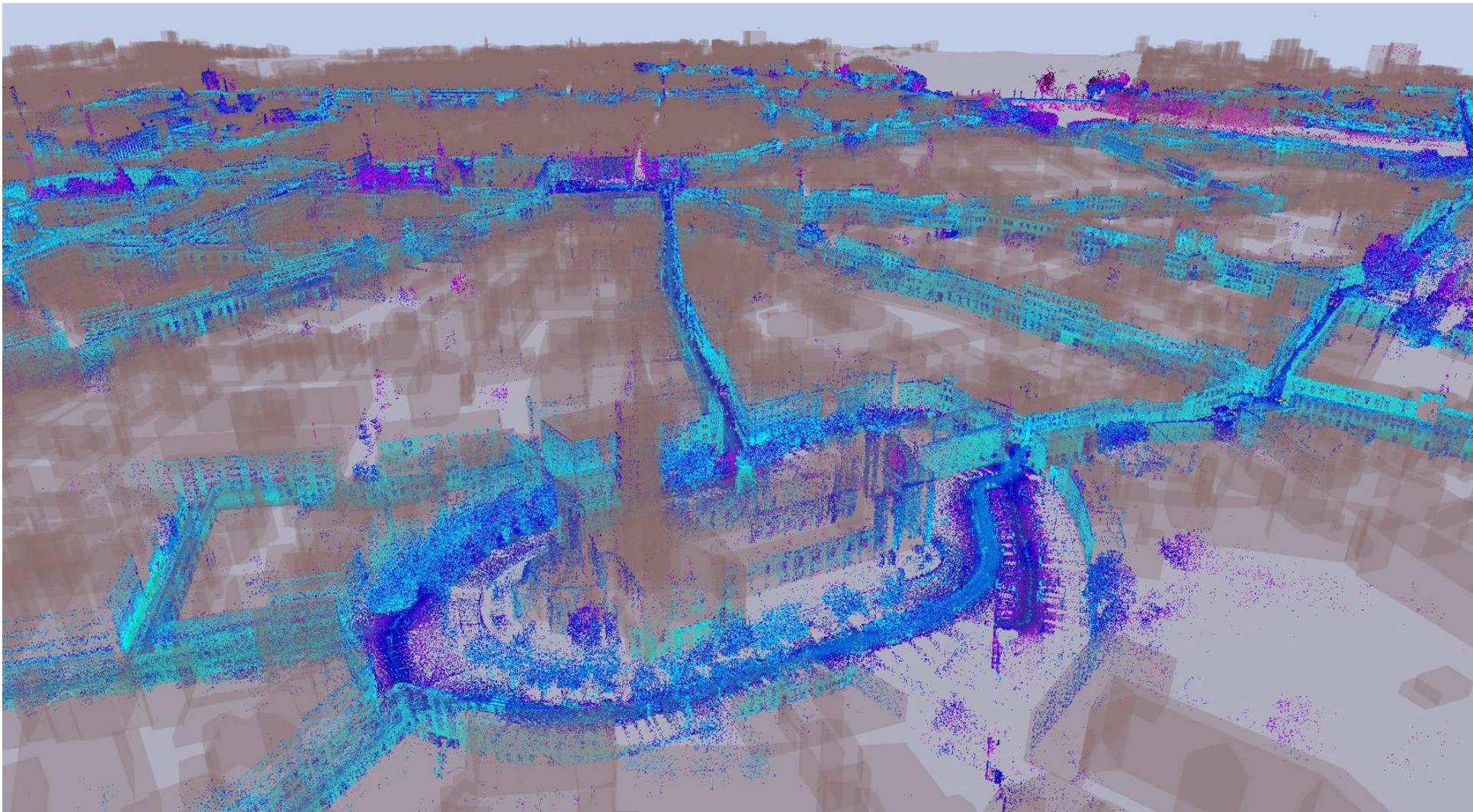
- **Laser / Laser :**
 - **Distance entre objets**
 - Plans de façade
 - Sol (route/trottoir)
 - Objets linéaires (poteaux, troncs, panneaux, ...)
 - Marquages au sol
 - **Distance dense:**
 - point à point
 - point à triangle
 - Utilisation possible de descripteurs
 - **Généralisation 3D de points d'intérêt**

Mesure de distance / erreur

- **Image / Base de données :**
 - **Distance en projection image 2D entre objets de la base et détectés**
 - **Panneaux de signalisation**
 - **Marquages au sol**
 - **Points d'intérêts 3D**

- **Laser / Base de données :**
 - **Distance 3D entre objets**
 - **Plans de façade**
 - **Sol (route/trottoir)**
 - **Objets linéaires (poteaux, troncs, panneaux, ...)**
 - **Marquages au sol**

Estimation de pose



Estimation de pose

- Une fois la distance / erreur définie, on cherche la pose (ou déformation) qui la minimise
 - **Moindres carrés**
 - **Estimation robuste**
 - **gestion des mauvais appariements**
- Très sensible à la qualité des appariements
- Pour l'améliorer, on peut rajouter des critères sur l'appariement :
 - **Compatibilité géométrique**
 - **Seuil sur la distance**
- On est alors sensible à la solution initiale
- On peut itérer pour affiner la solution courante utilisée pour le seuillage de distance → **ICP**

Estimation de pose par ICP

- **Iterative Closest Point (ICP) : alterne**

- **Estimation de distance**
- **Estimation de pose**

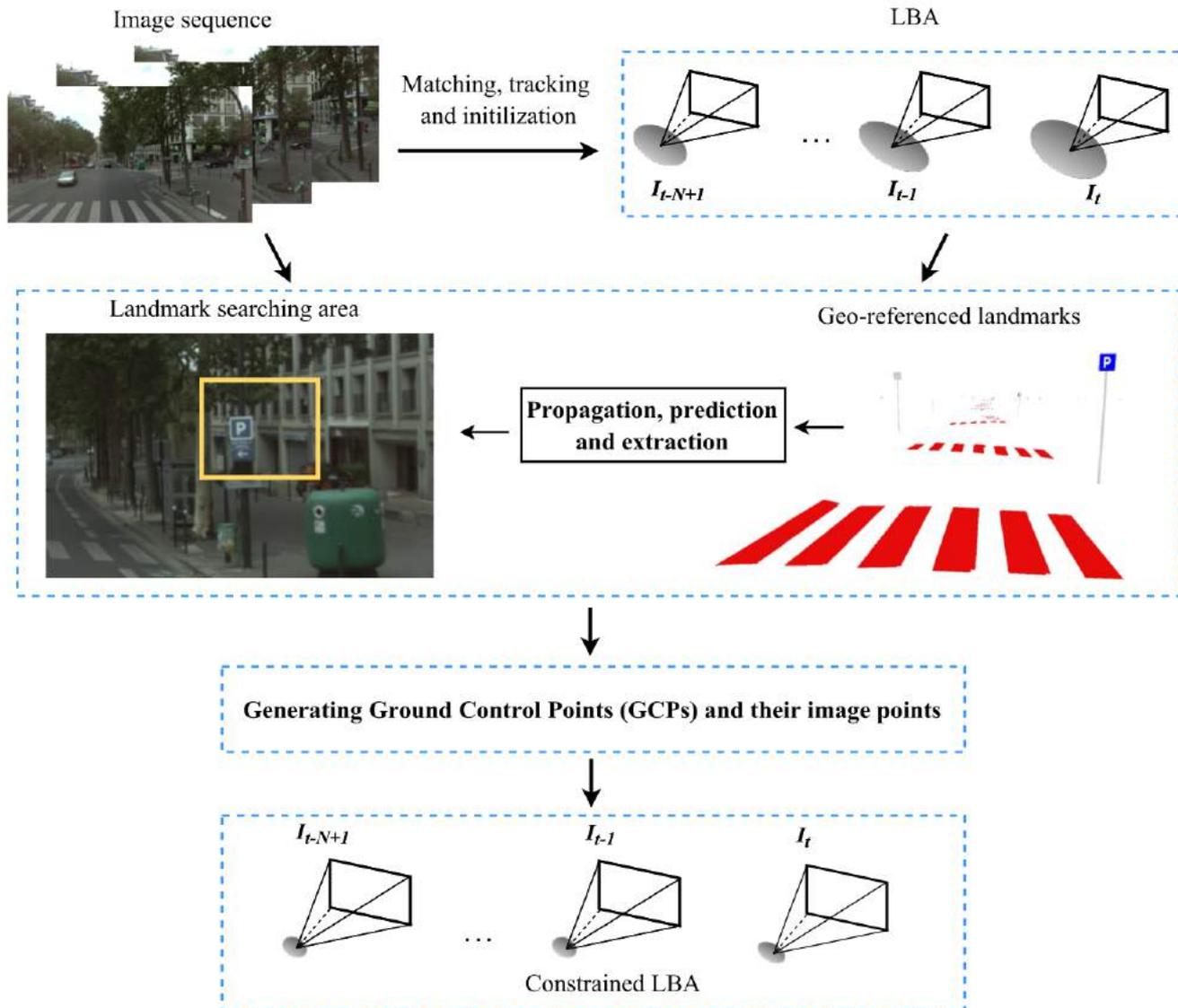
jusqu'à convergence

- **La solution courante permet de filtrer les appariements**
 - **En se rapprochant de la « bonne » solution**
 - **les bons appariements s'améliorent**
 - **Les mauvais appariements se détériorent**
 - **Marche si une majorité des appariements sont bons au départ**

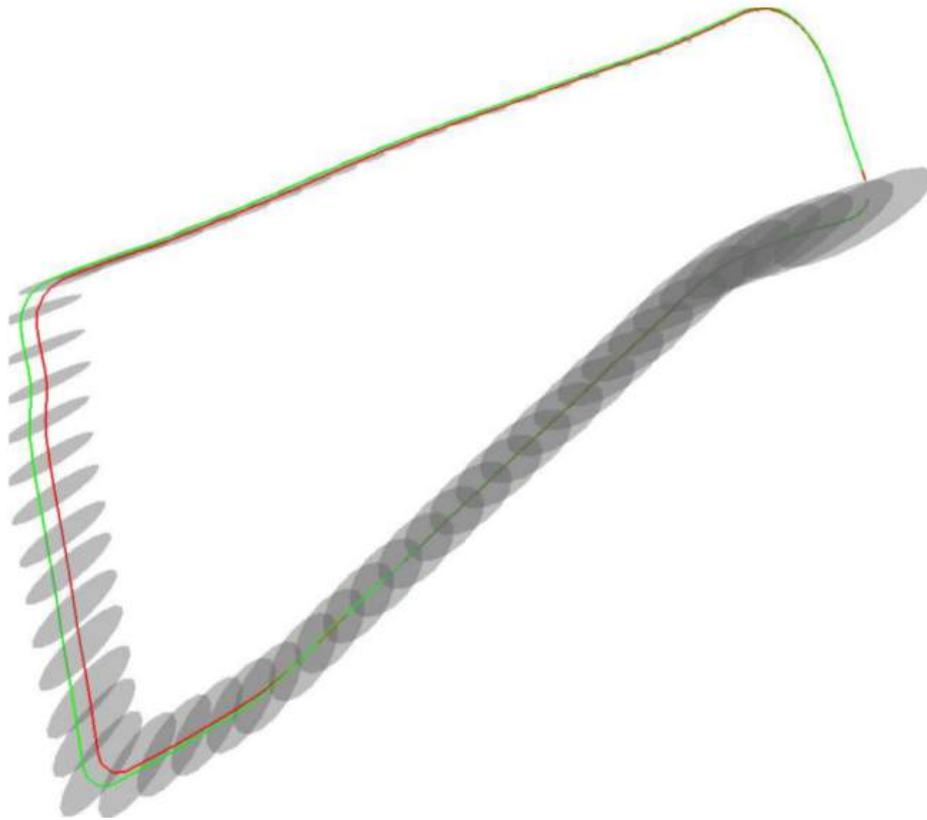
Remarques

- L'appariement nécessite une analyse de la scène :
 - Calcul de descripteurs
 - Détection d'objets de type donné
 - Filtrage des points du sol
- L'analyse de scène nécessite que les données soient recalées
 - Analyser la scène « localement » dans un fenêtre temporelle glissante
- Possibilité de combiner plusieurs distances/erreurs
- Possibilité de modéliser et propager les incertitudes
 - Plus de paramètres
 - Qualification des données produites

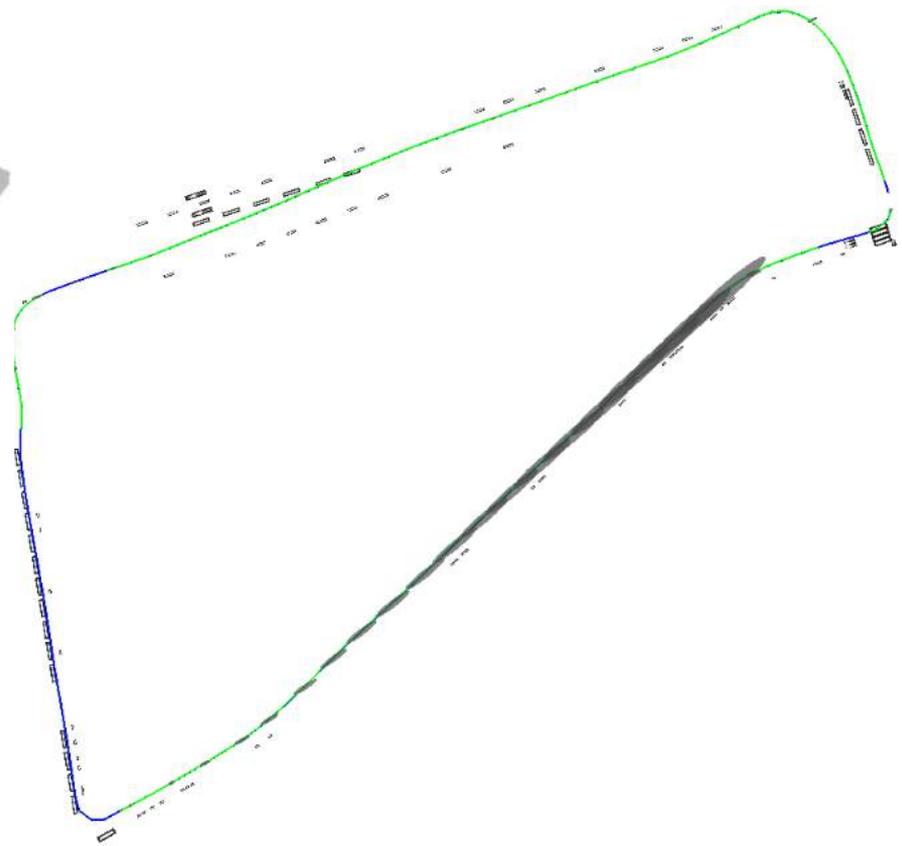
Utilisation d'une base d'amers : thèse de Xiazhi Qu



Remarques



Mono camera + LBA



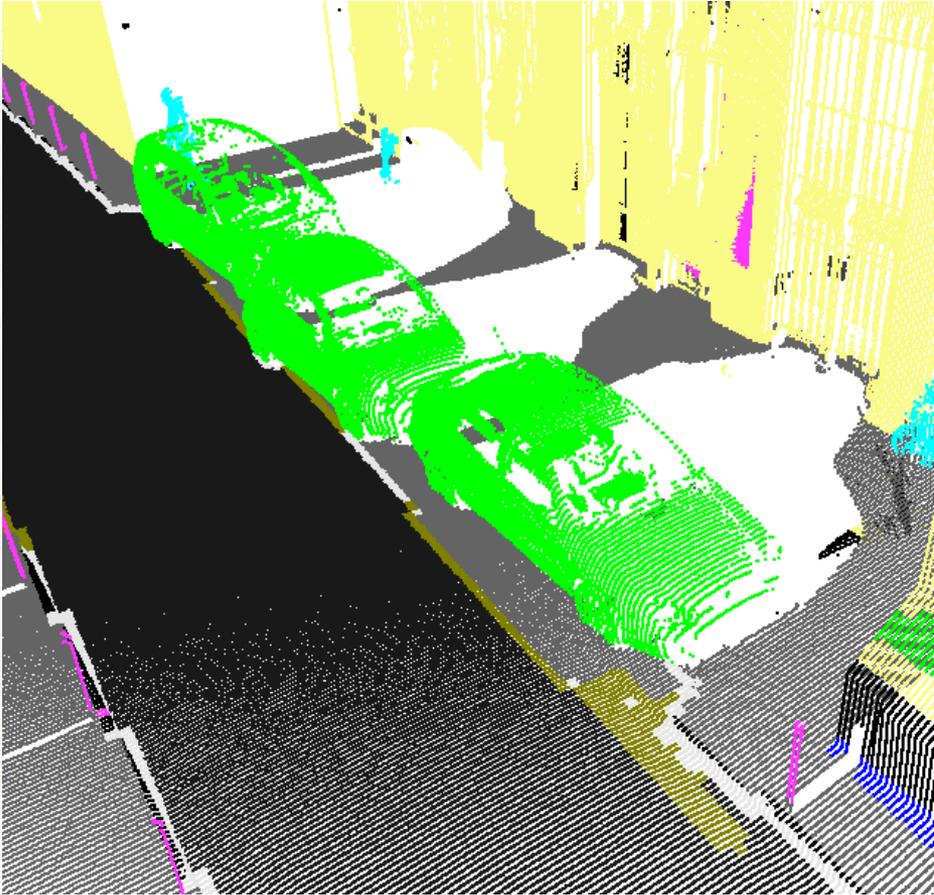
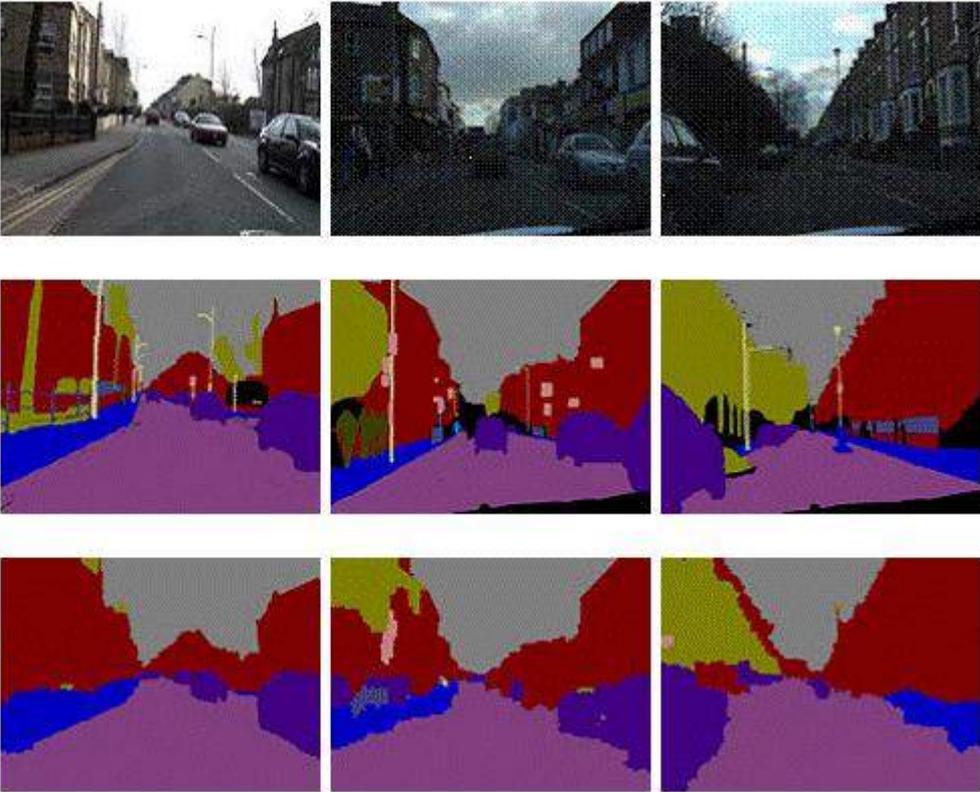
Mono camera + LBA + marquages

Conclusion et perspectives

Conclusion

- Niveau de maturité :
 - Acquisition bien maîtrisée
 - Recalage : de plus en plus opérationnel
 - Passage à l'échelle encore difficile
- Perspectives :
 - Gestion des incertitudes tout au long de la chaîne
 - Couplage image/laser
 - Couplage aérien/terrestre
 - Analyse sémantique :
 - Encore très prospectif
 - Améliorer robustesse et précision

Sémantisation des scènes



Sémantisation des scènes

- **Tendance actuelle : deep learning :**
 - **Réseaux de neurones multicouche inspirés du système visuel humain**
 - **Descripteurs locaux appris automatiquement**
 - **Apprentissage très gourmand en temps de calcul et en vérités terrain :**
 - **Millions d'images annotées**
 - **Semaines de calcul sur des armoires de cartes graphiques dédiées**
 - **Classification assez rapide sur du matériel adapté**
 - **Proche des performances de la vision humaine**
 - **Travaux récents sur la sémantisation nuages de points + images**

Merci pour votre attention

Contact : bruno.vallet@ign.fr