



INSTITUT NATIONAL
DE L'INFORMATION
GÉOGRAPHIQUE
ET FORESTIÈRE



Estimation de pose de grands blocs d'images panoramiques issues de systèmes de numérisation mobile

Bertrand CANNELLE

4 Décembre 2013

Soutenance de thèse de doctorat

Introduction

Introduction : *Contexte*

La numérisation mobile

Discipline née à la fin des années 90 :

La numérisation mobile

Discipline née à la fin des années 90 :

- Permet de collecter des données (images et/ou lasers) géoréférencées à partir de plate-formes mobiles terrestres

La numérisation mobile

Discipline née à la fin des années 90 :

- Permet de collecter des données (images et/ou lasers) géoréférencées à partir de plate-formes mobiles terrestres
- Méthode complémentaire aux techniques traditionnelles (aérienne et spatiale) :

La numérisation mobile

Discipline née à la fin des années 90 :

- Permet de collecter des données (images et/ou lasers) géoréférencées à partir de plate-formes mobiles terrestres
- Méthode complémentaire aux techniques traditionnelles (aérienne et spatiale) :
 - Distinction du fond des rues

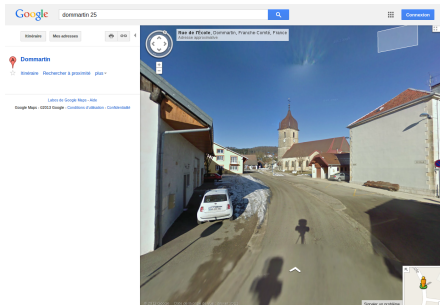
La numérisation mobile

Discipline née à la fin des années 90 :

- Permet de collecter des données (images et/ou lasers) géoréférencées à partir de plate-formes mobiles terrestres
- Méthode complémentaire aux techniques traditionnelles (aérienne et spatiale) :
 - Distinction du fond des rues
 - Visualisation directe des façades

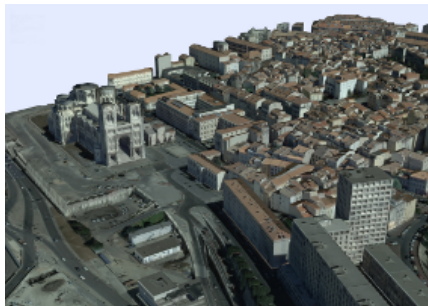
La numérisation mobile : applications

- La diffusion au grand public : Google Maps (Anguelov et al., 2010; Google, 2012), Microsoft Bing Carte StreetSide (Streetside, 2012)



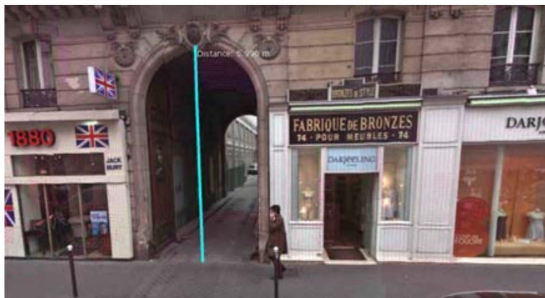
La numérisation mobile : applications

- La diffusion au grand public : Google Maps (Anguelov et al., 2010; Google, 2012), Microsoft Bing Carte StreetSide (Streetside, 2012)
- La modélisation de la ville (Bénitez et al., 2010; VirtuelCity, 2012; Carto3D, 2012)



La numérisation mobile : applications

- La diffusion au grand public : Google Maps (Anguelov et al., 2010; Google, 2012), Microsoft Bing Carte StreetSide (Streetside, 2012)
- La modélisation de la ville (Bénitez et al., 2010; VirtuelCity, 2012; Carto3D, 2012)
- La restitution participative (Devaux et al., 2012; Devaux and Paparoditis, 2010)



La numérisation mobile : applications

- La diffusion au grand public : Google Maps (Anguelov et al., 2010; Google, 2012), Microsoft Bing Carte StreetSide (Streetside, 2012)
- La modélisation de la ville (Bénitez et al., 2010; VirtuelCity, 2012; Carto3D, 2012)
- La restitution participative (Devaux et al., 2012; Devaux and Paparoditis, 2010)
- La numérisation du patrimoine routier (Viametris, 2012; Immergis, 2013)



La numérisation mobile : intérêts pour l'IGN

- Mise A Jour En Continu (MAJEC)

La numérisation mobile : intérêts pour l'IGN

- Mise A Jour En Continu (MAJEC)
 - Levés de nouveaux lotissements

La numérisation mobile : intérêts pour l'IGN

- Mise A Jour En Continu (MAJEC)
 - Levés de nouveaux lotissements
 - Ajout de nouvelles rues

La numérisation mobile : intérêts pour l'IGN

- Mise A Jour En Continu (MAJEC)
 - Levés de nouveaux lotissements
 - Ajout de nouvelles rues
- Création d'un Référentiel à Grande Échelle Urbain

La numérisation mobile : intérêts pour l'IGN

- Mise A Jour En Continu (MAJEC)
 - Levés de nouveaux lotissements
 - Ajout de nouvelles rues
- Création d'un Référentiel à Grande Échelle Urbain
 - Permettre aux gens de faire des mesures 3D précises

La numérisation mobile : intérêts pour l'IGN

- Mise A Jour En Continu (MAJEC)
 - Levés de nouveaux lotissements
 - Ajout de nouvelles rues
- Création d'un Référentiel à Grande Échelle Urbain
 - Permettre aux gens de faire des mesures 3D précises
 - Plus précis (centimétrique) que le Référentiel à Grande Échelle actuel (métrique)

Plan de la présentation

- 2 Méthodologie
- 3 Calibration de Véhicule de Cartographie Mobile
- 4 Recalage en absolu
- 5 Recalage en relatif
- 6 Recalage interne/externe

Introduction : *Constructeurs*

Solutions intégrées

Il existe de nombreuses solutions intégrées sur le marché :



Google Car



Optech



Street Mapper



TopCon



Trimble MX8



RIEGL VMX-450



Siteco



Leica

Solutions intégrées

Il existe de nombreuses solutions intégrées sur le marché :



Google Car



Optech



Street Mapper



TopCon



Trimble MX8



RIEGL VMX-450



Siteco



Leica

✓ Pas d'intégration à réaliser

✓ Solution "clé en main"

Solutions intégrées

Il existe de nombreuses solutions intégrées sur le marché :



Google Car



Optech



Street Mapper



TopCon



Trimble MX8



RIEGL VMX-450



Siteco



Leica



Pas d'intégration à réaliser



Solution "clé en main"



Ne répond pas directement à nos besoins

Solutions intégrées

Il existe de nombreuses solutions intégrées sur le marché :



Google Car



Optech



Street Mapper



TopCon



Trimble MX8



RIEGL VMX-450



Siteco



Leica



Pas d'intégration à réaliser



Solution "clé en main"



Ne répond pas directement à nos besoins



Pas (ou peu) modulable

Introduction : *Les données utilisées*

Le projet Stéréopolis

- Projet de recherche développé par l'IGN début 2000



Le projet Stéréopolis

- Projet de recherche développé par l'IGN début 2000
 - 4 caméras numériques aériennes mises sur un véhicule de production
 - Positionnement uniquement par GPS



Le projet Stéréopolis

- Projet de recherche développé par l'IGN début 2000
 - 4 caméras numériques aériennes mises sur un véhicule de production
 - Positionnement uniquement par GPS
- Stéréopolis V2 développé en 2007



Le projet Stéréopolis

- Projet de recherche développé par l'IGN début 2000
 - 4 caméras numériques aériennes mises sur un véhicule de production
 - Positionnement uniquement par GPS
- Stéréopolis V2 développé en 2007
 - Véhicule de recherche dédié à la cartographie mobile



Le projet Stéréopolis

- Projet de recherche développé par l'IGN début 2000
 - 4 caméras numériques aériennes mises sur un véhicule de production
 - Positionnement uniquement par GPS
- Stéréopolis V2 développé en 2007
 - Véhicule de recherche dédié à la cartographie mobile
 - Capteurs image+laser

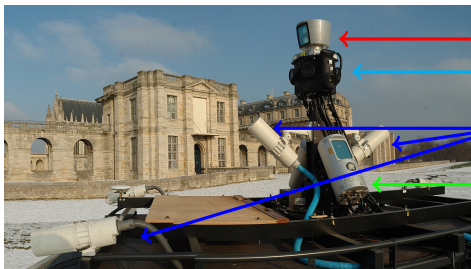


Le projet Stéréopolis

- Projet de recherche développé par l'IGN début 2000
 - 4 caméras numériques aériennes mises sur un véhicule de production
 - Positionnement uniquement par GPS
- Stéréopolis V2 développé en 2007
 - Véhicule de recherche dédié à la cartographie mobile
 - Capteurs image+laser
 - Système de positionnement hybride (GPS+INS+odomètre)

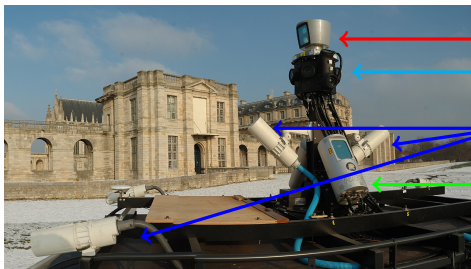


Le Stéréopolis V2 : Les capteurs



- Laser Velodyne
- Mât panoramique
- Caméras
- Laser Riegl

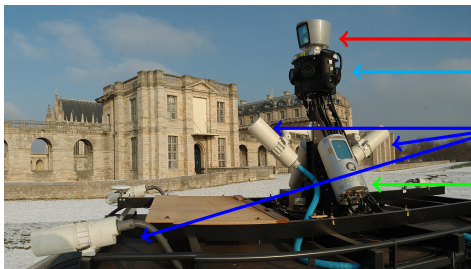
Le Stéréopolis V2 : Les capteurs



- Laser Velodyne
- Mât panoramique
- Caméras
- Laser Riegl

Pour cette thèse, pas d'utilisation du laser :

Le Stéréopolis V2 : Les capteurs



Laser Velodyne

Mât panoramique

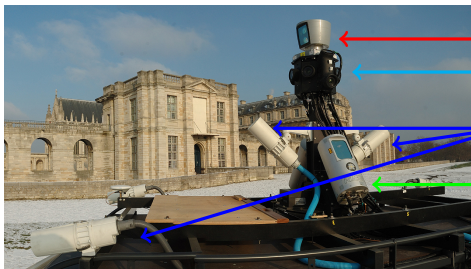
Caméras

Laser Riegl

Pour cette thèse, pas d'utilisation du laser :

- Pas toujours disponible sur les véhicules de numérisation mobile

Le Stéréopolis V2 : Les capteurs



Laser Velodyne

Mât panoramique

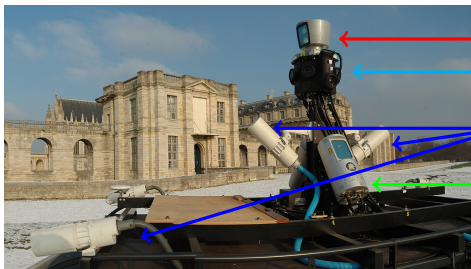
Caméras

Laser Riegl

Pour cette thèse, pas d'utilisation du laser :

- Pas toujours disponible sur les véhicules de numérisation mobile
- Image + laser :
 - Pas nécessaire pour des applications de MAJEC

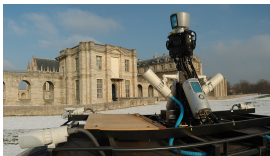
Le Stéréopolis V2 : Les capteurs



- ← Laser Velodyne
- ← Mât panoramique
- ← Caméras
- ← Laser Riegl

Pour cette thèse, pas d'utilisation du laser :

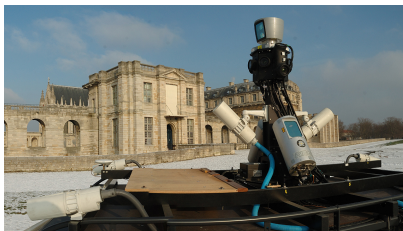
- Pas toujours disponible sur les véhicules de numérisation mobile
- Image + laser :
 - Pas nécessaire pour des applications de MAJEC
 - Plaques adresses
 - Levés de rues
 - Levés de nouveaux lotissements



Le Stéréopolis V2 : capteur image



- 1920x1080 pixels
- 12 bits
- Bon rapport signal/bruit
- Couleur (Bayer)
- Champs de 35 deg par 70 deg



Le Stéréopolis V2 : capteur image



- Acquisition dans une rue "standard"

Le Stéréopolis V2 : Système de positionnement

- POSLV220 (*Applanix / Trimble*)

Odomètre



IMU



Gyromètres +
Magnétomètres +
Accéléromètres

Antenne GPS (x2)



Le Stéréopolis V2 : Système de positionnement

- POSLV220 (*Applanix / Trimble*)

Odomètre



IMU



Gyromètres +
Magnétomètres +
Accéléromètres

Antenne GPS (x2)



- Données constructeurs (*Applanix, 2012*) :

	Avec GPS	Après 1 minute de masque GPS
Position X,Y (m)	0,020	0,240
Position Z (m)	0,050	0,130
Roulis et Tangage (°)	0,020	0,060
Cap (°)	0,025	0,030

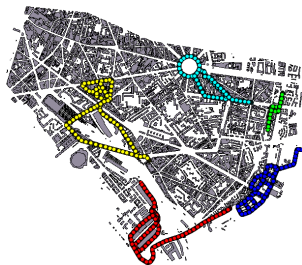
Le Stéréopolis V2 : Système de positionnement en pratique

Analyse des périodes de masques GPS durant les acquisitions.

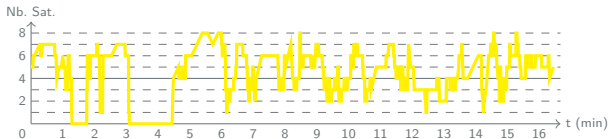
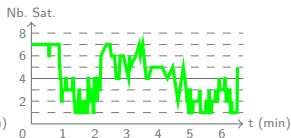
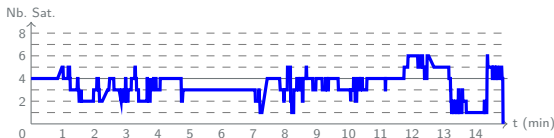
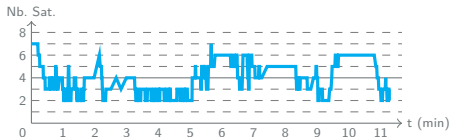
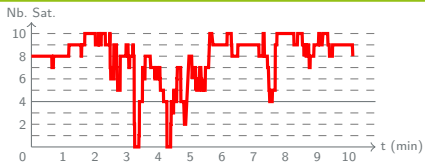
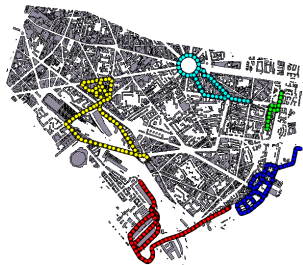
Le Stéréopolis V2 : Système de positionnement en pratique

Analyse des périodes de masques GPS durant les acquisitions.

- Représentation du nombre de satellites en fonction du temps pour quelques acquisitions.

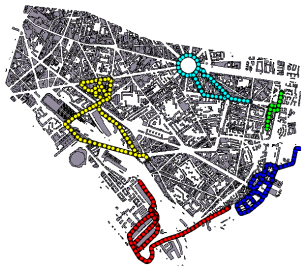


Le Stéréopolis V2 : Système de positionnement en pratique



Le Stéréopolis V2 : Système de positionnement en pratique

Analyse des périodes de masques GPS durant les acquisitions.



Système utilisé souvent au-delà des indications constructeurs : difficile de connaître la précision de positionnement a priori.

Le Stéréopolis V2 : Système de positionnement en pratique

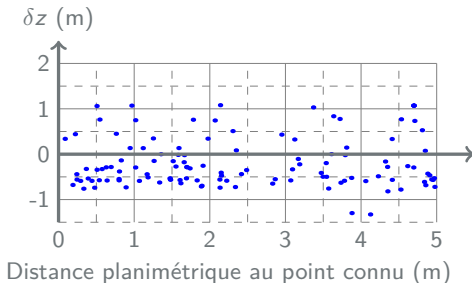
Analyse de la précision du système de positionnement :

- Points connus en 3D avec une précision centimétrique sur la chaussée (passages piétons)
- Comparaison lors de différents passages du véhicule à proximité de ces points

Le Stéréopolis V2 : Système de positionnement en pratique

Analyse de la précision du système de positionnement :

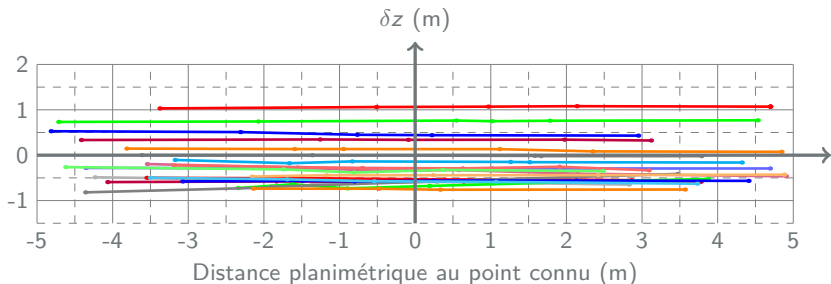
- Points connus en 3D avec une précision centimétrique sur la chaussée (passages piétons)
- Comparaison lors de différents passages du véhicule à proximité de ces points



Le Stéréopolis V2 : Système de positionnement en pratique

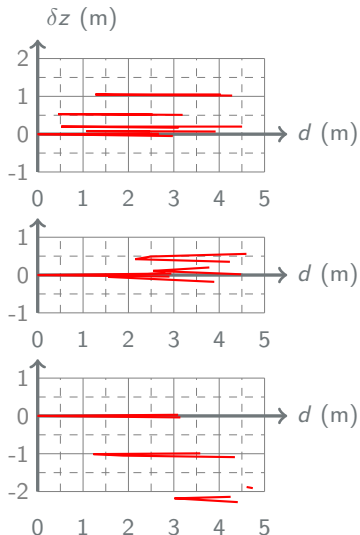
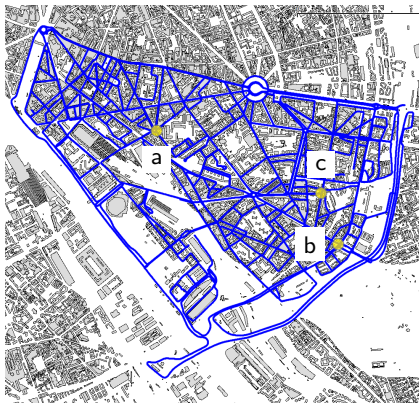
Analyse de la précision du système de positionnement :

- Points connus en 3D avec une précision centimétrique sur la chaussée (passages piétons)
- Comparaison lors de différents passages du véhicule à proximité de ces points



Le Stéréopolis V2 : Système de positionnement en pratique

Plan de la zone



Le Stéréopolis V2 : Système de positionnement

Conclusion



Systeme pas toujours précis (1m)

Le Stéréopolis V2 : Système de positionnement

Conclusion



Système pas toujours précis (1m)

- souvent utilisé dans des conditions de réception GPS difficile (milieu urbain dense)

Le Stéréopolis V2 : Système de positionnement

Conclusion



Système pas toujours précis (1m)

- souvent utilisé dans des conditions de réception GPS difficile (milieu urbain dense)



Système cohérent

Problématique

Peut-on utiliser les données images pour faire du levé 3D urbain précis par photogrammétrie plutôt que d'effectuer un levé traditionnel ?

Problématique

Peut-on utiliser les données images pour faire du levé 3D urbain précis par photogrammétrie plutôt que d'effectuer un levé traditionnel ?

Problèmes

Problématique

Peut-on utiliser les données images pour faire du levé 3D urbain précis par photogrammétrie plutôt que d'effectuer un levé traditionnel ?

Problèmes

- Solution fournie par le système de positionnement pas assez précis

Problématique

Peut-on utiliser les données images pour faire du levé 3D urbain précis par photogrammétrie plutôt que d'effectuer un levé traditionnel ?

Problèmes

- Solution fournie par le système de positionnement pas assez précis
- Pas de cohérence des données entre des passages successifs au même endroit (à partir de quelques minutes),

Problématique

Peut-on utiliser les données images pour faire du levé 3D urbain précis par photogrammétrie plutôt que d'effectuer un levé traditionnel ?

Problèmes

- Solution fournie par le système de positionnement pas assez précis
- Pas de cohérence des données entre des passages successifs au même endroit (à partir de quelques minutes),
- Passage à l'échelle

Problématique

Peut-on utiliser les données images pour faire du levé 3D urbain précis par photogrammétrie plutôt que d'effectuer un levé traditionnel ?

Problèmes

- Solution fournie par le système de positionnement pas assez précis
- Pas de cohérence des données entre des passages successifs au même endroit (à partir de quelques minutes),
- Passage à l'échelle

Solution

Problématique

Peut-on utiliser les données images pour faire du levé 3D urbain précis par photogrammétrie plutôt que d'effectuer un levé traditionnel ?

Problèmes

- Solution fournie par le système de positionnement pas assez précis
- Pas de cohérence des données entre des passages successifs au même endroit (à partir de quelques minutes),
- Passage à l'échelle

Solution

- Utilisation des images acquises par le véhicule,
 - Amélioration en relatif par compensation locale
 - Amélioration en absolu par recalage avec des points 3D
 - Utilisation conjointe Base de Données/ Système de fichiers

Problématique

Peut-on utiliser les données images pour faire du levé 3D urbain précis par photogrammétrie plutôt que d'effectuer un levé traditionnel ?

Problèmes

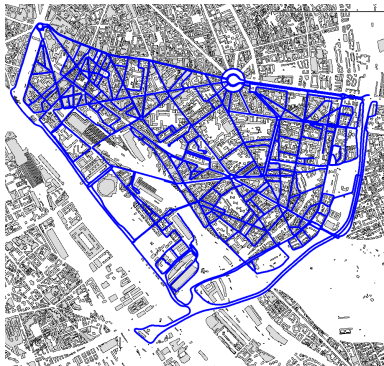
- Solution fournie par le système de positionnement pas assez précis
- Pas de cohérence des données entre des passages successifs au même endroit (à partir de quelques minutes),
- Passage à l'échelle

Solution

- Utilisation des images acquises par le véhicule,
 - Amélioration en relatif par compensation locale
 - Amélioration en absolu par recalage avec des points 3D
 - Utilisation conjointe Base de Données/ Système de fichiers
- Utilisation de la trajectoire fournie par le système de positionnement

Exemple de chantier : Paris XII^e

- 46750 panoramiques
- 2 jours d'acquisition
- Tout le XII^e arrondissement (sauf le bois de Vincennes)



Méthodologie

Principe

Utiliser l'image pour améliorer le positionnement :

Principe

Utiliser l'image pour améliorer le positionnement :

- En mesurant des points connus : points d'appui

Principe

Utiliser l'image pour améliorer le positionnement :

- En mesurant des points connus : points d'appui
- En utilisant des points identiques entre les images : points homologues

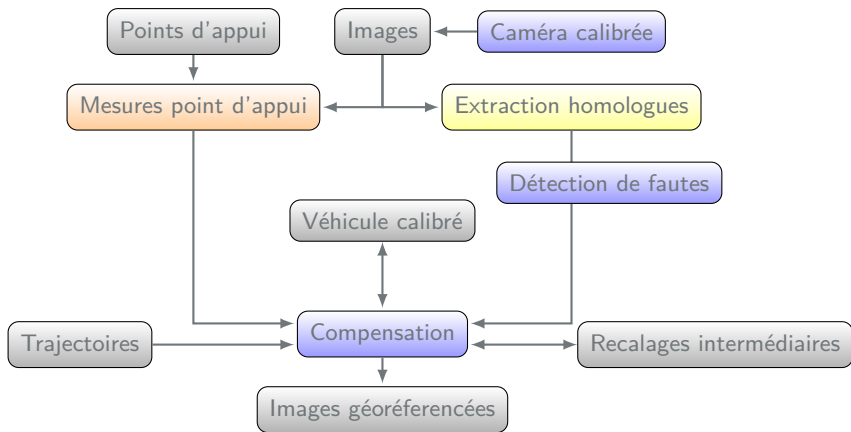
Principe

Utiliser l'image pour améliorer le positionnement :

- En mesurant des points connus : points d'appui
- En utilisant des points identiques entre les images : points homologues

Compenser les différentes observations

Compensation par faisceaux : Principe Global



Légende :

Données

Proc. Manuelle

Proc. Automatique

Proc. Thèse

Formule image : Équation mathématique

Formule qui permet de lier un point M_{ter} à sa position dans une image (c,l)

Formule image : Équation mathématique

Formule qui permet de lier un point M_{ter} à sa position dans une image (c,l)

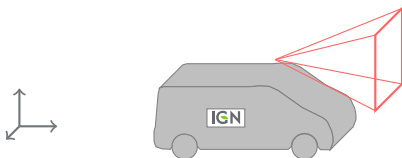
$$\begin{pmatrix} c \\ l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{PPA} \\ I_{PPA} \end{pmatrix} - p_t \frac{\mathcal{R}_{ste,cam} \mathcal{R}_{ter,ste} (M_{ter} - (\mathcal{R}_{ste,ter} \mathcal{S}_{ste} + \mathcal{T}_{ste,ter}))}{\mathcal{R}_{ste,cam} \mathcal{R}_{ter,ste} (M_{ter} - (\mathcal{R}_{ste,ter} \mathcal{S}_{ste} + \mathcal{T}_{ste,ter}))}$$

Formule image : Équation mathématique

Formule qui permet de lier un point M_{ter} à sa position dans une image (c,l)

$$\begin{pmatrix} c \\ l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} CPPA \\ IPPA \end{pmatrix} - p \frac{{}^t \mathbf{R}_{ste, cam} \mathbf{R}_{ter, ste} (M_{ter} - (\mathbf{R}_{ste, ter} \mathbf{S}_{ste} + \mathbf{T}_{ste, ter}))}{\mathbf{k} \mathbf{R}_{ste, cam} \mathbf{R}_{ter, ste} (M_{ter} - (\mathbf{R}_{ste, ter} \mathbf{S}_{ste} + \mathbf{T}_{ste, ter}))}$$

- Paramètres intrinsèques de chaque caméra

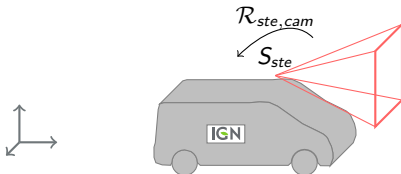


Formule image : Équation mathématique

Formule qui permet de lier un point M_{ter} à sa position dans une image (c,l)

$$\begin{pmatrix} c \\ l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{PPA} \\ I_{PPA} \end{pmatrix} - p_t \frac{\mathcal{R}_{ste, cam} \mathcal{R}_{ter, ste} (M_{ter} - (\mathcal{R}_{ste, ter} \mathcal{S}_{ste} + \mathcal{T}_{ste, ter}))}{k \mathcal{R}_{ste, cam} \mathcal{R}_{ter, ste} (M_{ter} - (\mathcal{R}_{ste, ter} \mathcal{S}_{ste} + \mathcal{T}_{ste, ter}))}$$

- Paramètres de positionnement de chaque caméra sur le véhicule

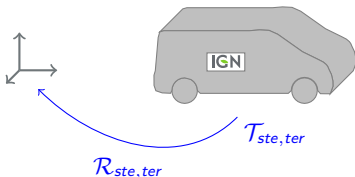


Formule image : Équation mathématique

Formule qui permet de lier un point M_{ter} à sa position dans une image (c,l)

$$\begin{pmatrix} c \\ l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{PPA} \\ I_{PPA} \end{pmatrix} - p \frac{{}^t \mathcal{R}_{ste, cam} \mathcal{R}_{ter, ste} (M_{ter} - (\mathcal{R}_{ste, ter} S_{ste} + \mathcal{T}_{ste, ter}))}{k \mathcal{R}_{ste, cam} \mathcal{R}_{ter, ste} (M_{ter} - (\mathcal{R}_{ste, ter} S_{ste} + \mathcal{T}_{ste, ter}))}$$

- Paramètres propres à chaque panoramique

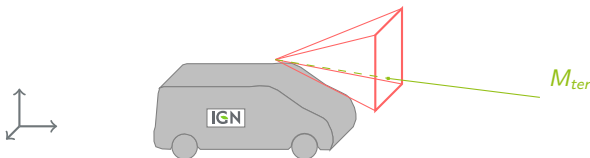


Formule image : Équation mathématique

Formule qui permet de lier un point M_{ter} à sa position dans une image (c,l)

$$\begin{pmatrix} c \\ l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{PPA} \\ I_{PPA} \end{pmatrix} - p_t \frac{\mathcal{R}_{ste,cam} \mathcal{R}_{ter,ste} (M_{ter} - (\mathcal{R}_{ste,ter} S_{ste} + \mathcal{T}_{ste,ter}))}{k \mathcal{R}_{ste,cam} \mathcal{R}_{ter,ste} (M_{ter} - (\mathcal{R}_{ste,ter} S_{ste} + \mathcal{T}_{ste,ter}))}$$

- Points (homologues ou d'appui)

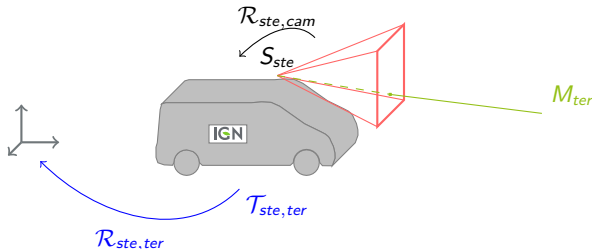


Formule image : Équation mathématique

Formule qui permet de lier un point M_{ter} à sa position dans une image (c,l)

$$\begin{pmatrix} c \\ l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} CPPA \\ IPPA \end{pmatrix} - p_t \frac{{}^R_{ste, cam} R_{ter, ste} (M_{ter} - ({}^R_{ste, ter} S_{ste} + T_{ste, ter}))}{k {}^R_{ste, cam} R_{ter, ste} (M_{ter} - ({}^R_{ste, ter} S_{ste} + T_{ste, ter}))}$$

- Paramètres intrinsèques de chaque caméra ■
- Paramètres de positionnement de chaque caméra sur le véhicule ■
- Paramètres propres à chaque panoramique ■
- Points (homologues ou d'appui) ■



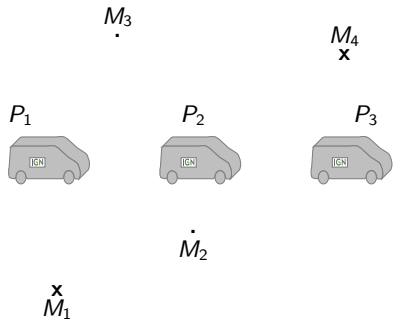
Formule image : Équation mathématique

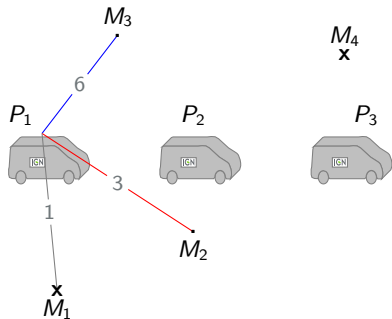
Formule qui permet de lier un point M_{ter} à sa position dans une image (c,l)

$$\begin{pmatrix} c \\ l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} CPPA \\ IPPA \end{pmatrix} - p \frac{{}^t k \mathcal{R}_{ste, cam} \mathcal{R}_{ter, ste} (M_{ter} - (\mathcal{R}_{ste, ter} S_{ste} + \mathcal{T}_{ste, ter}))}{\mathcal{R}_{ste, cam} \mathcal{R}_{ter, ste} (M_{ter} - (\mathcal{R}_{ste, ter} S_{ste} + \mathcal{T}_{ste, ter}))}$$

- Paramètres intrinsèques de chaque caméra ■
- Paramètres de positionnement de chaque caméra sur le véhicule ■
- Paramètres propres à chaque panoramique ■
- Points (homologues ou d'appui) ■

- Correspond à la réalité mécanique du système
- Réduit le nombre d'inconnues





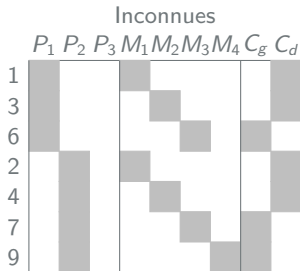
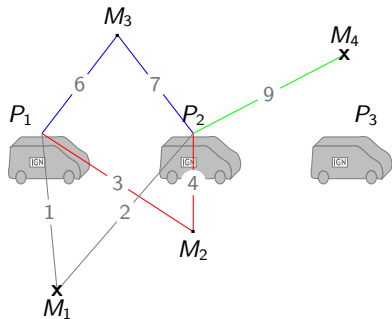
M_4
 x

Inconnues

	P_1	P_2	P_3	M_1	M_2	M_3	M_4	C_g	C_d
1									
3									
6									

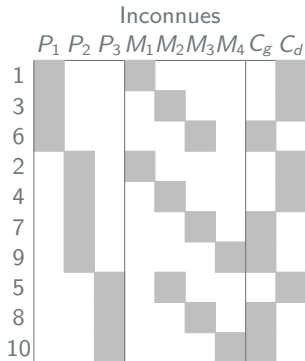
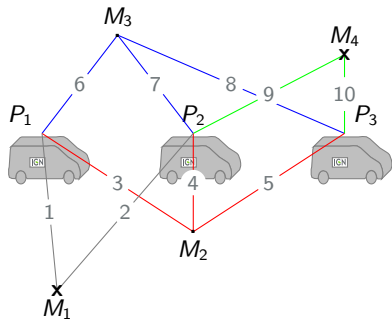
Mesures images

$$\begin{pmatrix} c \\ l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{PPA} \\ I_{PPA} \end{pmatrix} - p \frac{\mathcal{R}_{ste,cam} \mathcal{R}_{ter,ste} (M_{ter} - (\mathcal{R}_{ste,ter} S_{ste} + \mathcal{T}_{ste,ter}))}{t \mathbf{k} \mathcal{R}_{ste,cam} \mathcal{R}_{ter,ste} (M_{ter} - (\mathcal{R}_{ste,ter} S_{ste} + \mathcal{T}_{ste,ter}))}$$



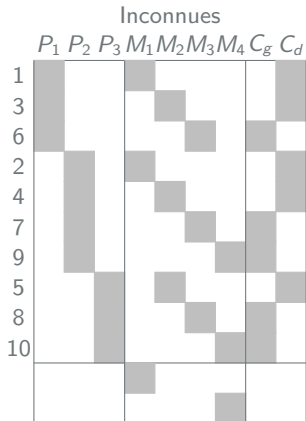
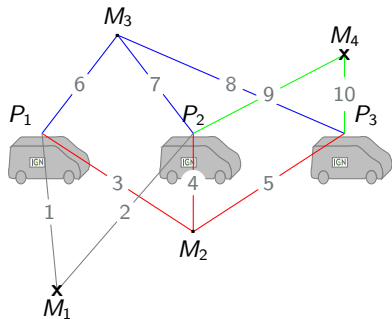
Mesures images

$$\begin{pmatrix} c \\ l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{PPA} \\ I_{PPA} \end{pmatrix} - p \frac{\mathcal{R}_{ste,cam} \mathcal{R}_{ter,ste} (M_{ter} - (\mathcal{R}_{ste,ter} S_{ste} + \mathcal{T}_{ste,ter}))}{t \mathbf{k} \mathcal{R}_{ste,cam} \mathcal{R}_{ter,ste} (M_{ter} - (\mathcal{R}_{ste,ter} S_{ste} + \mathcal{T}_{ste,ter}))}$$

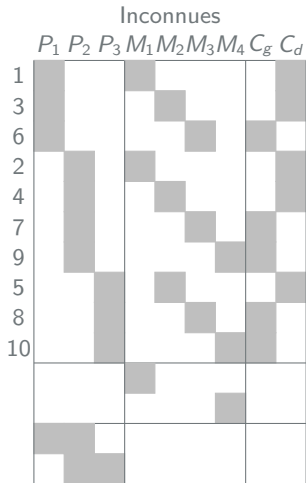
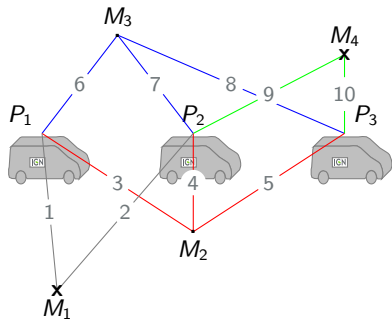


Mesures images

$$\begin{pmatrix} c \\ l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{PPA} \\ I_{PPA} \end{pmatrix} - p \frac{\mathcal{R}_{ste,cam} \mathcal{R}_{ter,ste} (M_{ter} - (\mathcal{R}_{ste,ter} S_{ste} + \mathcal{T}_{ste,ter}))}{t \mathbf{k} \mathcal{R}_{ste,cam} \mathcal{R}_{ter,ste} (M_{ter} - (\mathcal{R}_{ste,ter} S_{ste} + \mathcal{T}_{ste,ter}))}$$

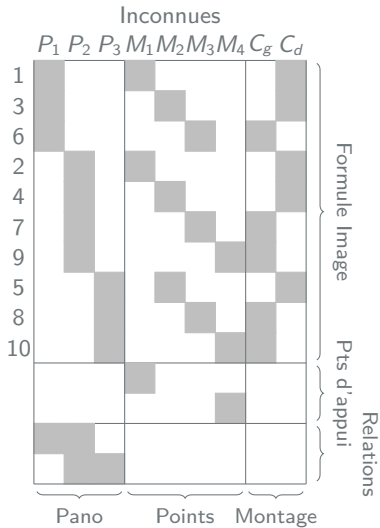
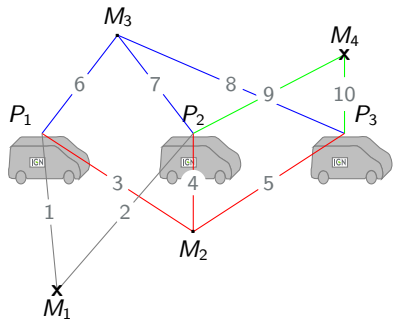


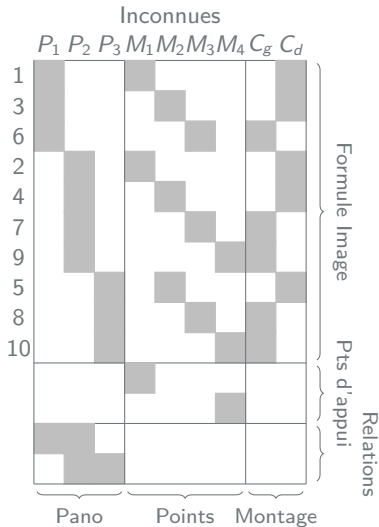
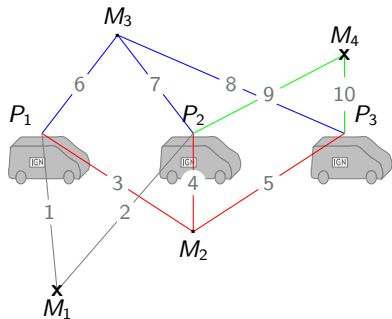
Points d'appui
 $\delta \mathcal{M}_i = \delta \mathcal{M}_{ter, connue}$



Relation entre les poses du véhicule

$$P_j - P_i = \delta_{ij}$$





- Système creux : implémentation C++ dans (Guennebaud et al., 2010) + Optimisation du rangement {Manuscrit p 132}
- Résolution par moindres carrés par un algorithme de Levenberg-Marquardt

Calibration de Véhicule de Cartographie Mobile

Méthodes en 2 étapes

- **Variante A** (Wang et al., 2012) :
 - Calibration des caméras entre elles
 - Calibration des autres capteurs (GPS, INS...) par rapport aux caméras
- **Variante B** (Esquivel et al., 2007; Habib et al., 2011; Rau et al., 2011) :
 - Estimation des poses des caméras individuelles
 - Déduction des poses des caméras par rapport au véhicule

Méthodes en 2 étapes

- **Variante A** (Wang et al., 2012) :
 - Calibration des caméras entre elles
 - Calibration des autres capteurs (GPS, INS...) par rapport aux caméras
- **Variante B** (Esquivel et al., 2007; Habib et al., 2011; Rau et al., 2011) :
 - Estimation des poses des caméras individuelles
 - Déduction des poses des caméras par rapport au véhicule

Méthode en 1 étape

Utilisation de cibles connues en 3D (Kersting et al., 2012) ou non (Lébraly et al., 2011),

- Estimation directe des poses des caméras par rapport au véhicule

Calibration de Véhicule de Cartographie Mobile : *Calibration* « *Off-Line* »

Procédure

- Prendre des panoramiques dans un environnement maîtrisé (càd avec des cibles ou des détails identifiables facilement)
- Mesurer les cibles dans les images
- Connaître la position des cibles en coordonnées terrain
- Résoudre le système d'équation :

$$\begin{pmatrix} c \\ l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} CPPA \\ IPPA \end{pmatrix} - p_t \frac{{}^t\mathbf{k} \mathcal{R}_{ste, cam} \mathcal{R}_{ter, ste} (M_{ter} - (\mathcal{R}_{ste, ter} S_{ste} + T_{ste, ter}))}{\mathcal{R}_{ste, cam} \mathcal{R}_{ter, ste} (M_{ter} - (\mathcal{R}_{ste, ter} S_{ste} + T_{ste, ter}))}$$

pour chaque mesure image

- Données mesurées sur le terrain ■.
- Inconnues de calibration ■ (valeurs initiales plan CAO).
- Inconnues de positionnement du véhicule ■ (valeurs initiales GPS/INS).

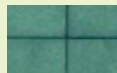
Environnement maîtrisé choisi



Ex cibles



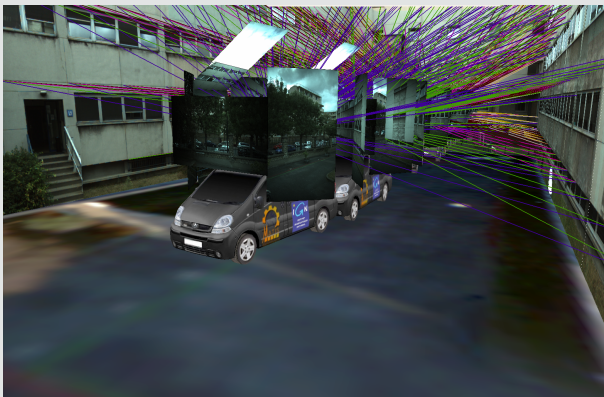
Ex détail



Panoramiques dans un environnement maîtrisé



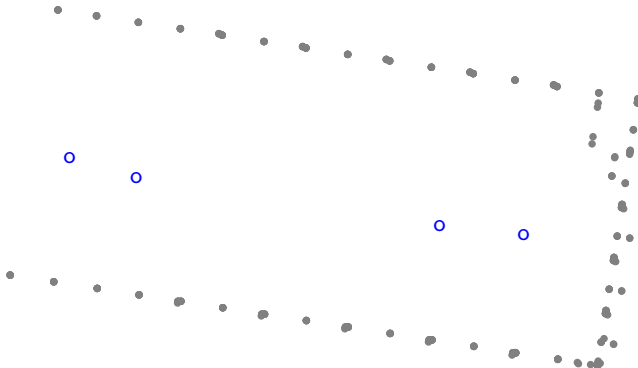
Panoramiques + Mesures images



Protocole

Pour déterminer la position des caméras par rapport au camion, il y a :

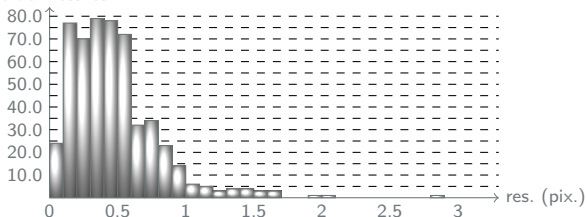
- 231 points d'appui,
- 4 panoramiques,
- 534 mesures images



Résultats numériques

Caméras	Résidus avant calibration (en pixel)		Résidus après calibration (en pixel)	
	moyenne	écart type	moyenne	écart type
21	6,10	1,31	0,41	0,25
22	3,47	1,99	0,76	0,41
23	7,52	3,63	0,43	0,25
31	18,67	2,50	0,25	0,14
32	15,27	1,79	0,57	0,39
33	8,16	2,02	0,35	0,22
34	22,12	1,91	0,44	0,25
41	6,00	2,24	0,49	0,31
42	2,21	1,09	0,35	0,22
43	5,00	0,89	0,41	0,19

Nb de mesures.



Solution et montage initial



Solution et montage initial



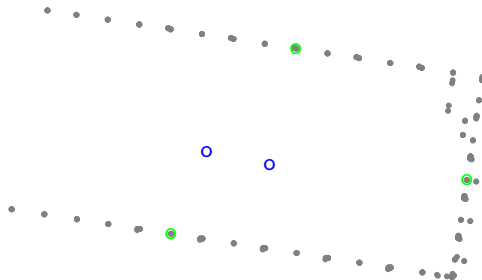
Positionnement et orientation du véhicule et des caméras estimés



Contrôle

Pour déterminer la validité de la position des caméras par rapport au camion, il y a :

- 3 points d'appui,
- 2 panoramiques,
- 92 points de contrôle



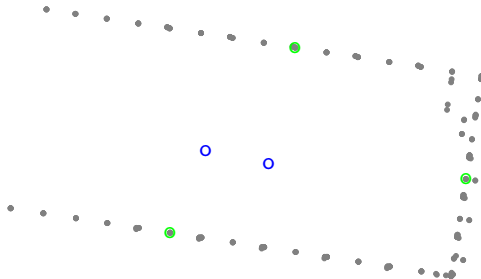
Contrôle

Pour déterminer la validité de la position des caméras par rapport au camion, il y a :

- 3 points d'appui,
- 2 panoramiques,
- 92 points de contrôle

Résultats (en mètre)

Minimum	0,001
Maximum	0,121
Moyenne	0,016
Ecart type	0,019



Calibration de Véhicule de Cartographie Mobile : *Calibration* « *On-Line* »

Procédure

- Prendre quelques panoramiques dans une acquisition "quelconque"
- Extraire des points homologues entre ces panoramiques
- Résoudre le système d'équation :

$$\begin{pmatrix} c \\ l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{PPA} \\ I_{PPA} \end{pmatrix} - p^t \frac{\mathcal{R}_{ste,cam} \mathcal{R}_{ter,ste} (M_{ter} - (\mathcal{R}_{ste,ter} S_{ste} + T_{ste,ter}))}{\mathcal{R}_{ste,cam} \mathcal{R}_{ter,ste} (M_{ter} - (\mathcal{R}_{ste,ter} S_{ste} + T_{ste,ter}))}$$

pour chaque mesure image

- Inconnues de calibration ■ (valeurs initiales plan CAO).
- Inconnues de positionnement du véhicule ■ (valeurs initiales GPS/INS).
- Inconnues de points homologues ■.

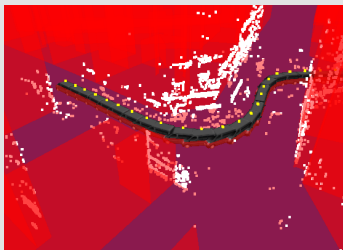
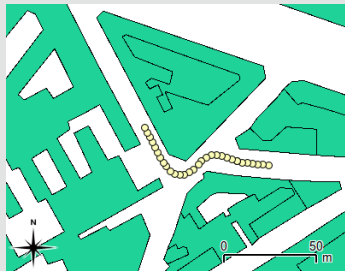
Données

- 30 panoramiques
- 10756 points homologues (SIFT)

Compensation

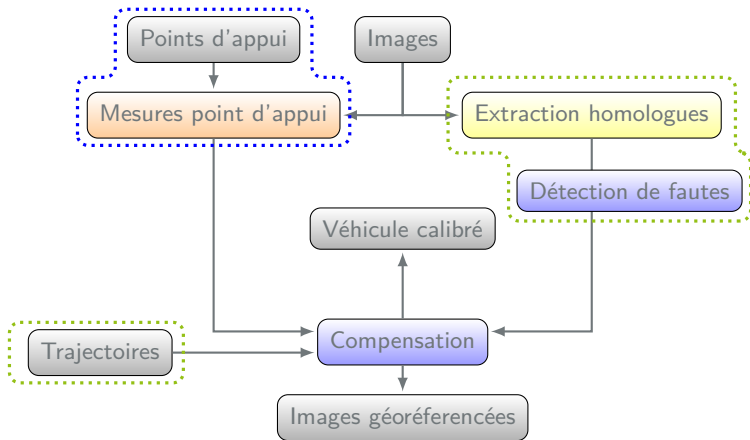
- Résidus image moyens : 0,29 pix.
- Résidus écart-type : 0,40 pix.

Illustration



Calibration de Véhicule de Cartographie Mobile : *Comparaison des méthodes*

Compensation par faisceaux : Comparaison des méthodes



..... « Off-Line » « On-Line »

Comparaison des résultats de calibration

- 4 panoramiques consécutives
- 14 points d'appui
- 8 points de contrôle

Comparaison des résultats de calibration

- 4 panoramiques consécutives
- 14 points d'appui
- 8 points de contrôle

	Résidus sur les mesures image (pix.)			
	Points d'appui		Points de contrôle	
	Moy	Ec. Typ.	Moy	Ec. Typ.
Sans calibration	3,96	3,88	2,11	1,83
« Off-Line »	0,54	0,27	0,30	0,19
« On-Line »	0,55	0,30	0,32	0,21

Comparaison des résultats de calibration

- 4 panoramiques consécutives
- 14 points d'appui
- 8 points de contrôle

	Résidus sur les mesures image (pix.)			
	Points d'appui		Points de contrôle	
	Moy	Ec. Typ.	Moy	Ec. Typ.
Sans calibration	3,96	3,88	2,11	1,83
« Off-Line »	0,54	0,27	0,30	0,19
« On-Line »	0,55	0,30	0,32	0,21

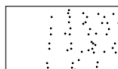
	Résidus sur les points (m.)			
	Points d'appui		Points de contrôle	
	Moy	Ec. Typ.	Moy	Ec. Typ.
Sans calibration	0,030	0,029	0,396	0,350
« Off-Line »	0,005	0,003	0,044	0,023
« On-Line »	0,005	0,004	0,023	0,009

Comparaison de la répartition des mesures image

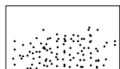
Répartition des mesures images pour chaque caméra

Sur Polygone (534 mes. im.)

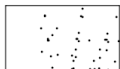
21



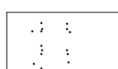
22



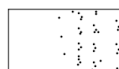
23



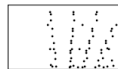
31



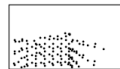
32



41



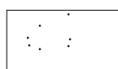
42



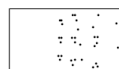
43



34



33

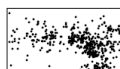


On Line (10756 mes. im.)

21



22



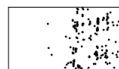
23



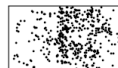
31



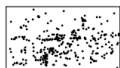
32



41



42



43



34



33



Avantages / Inconvénients

Off Line

- ✓ Estimation de la qualité de calibration
- ~ Mesures images manuelles (étape qui peut être automatisée)
- ✗ Nécessite un site dédié
- ✗ Dépend des conditions de l'acquisition (température,...)

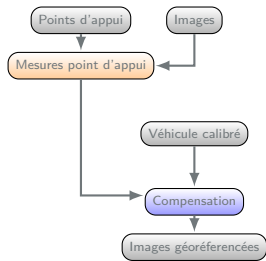
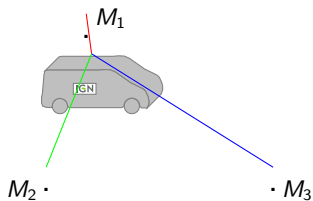
On Line

- ✓ Pas besoin d'acquisition spécifique
- ~ Dépend de l'acquisition
 - La répartition des mesures n'est pas maîtrisée
 - Acquisition en forêt => risque de ne pas fonctionner
- ✗ Plus complexe à mettre en place (extraction, élimination d'erreurs...)

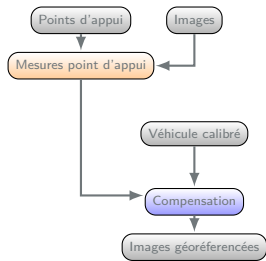
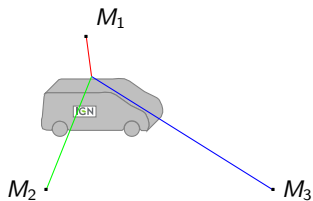
Recalage en absolu

Recalage en absolu : *Recalage sur points d'appui externe*

Relèvement : Principe

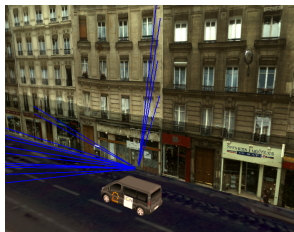
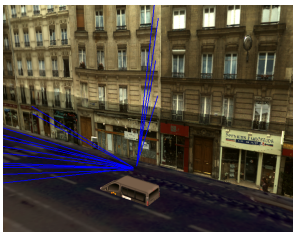


Relèvement : Principe



Principe

$$s = \underset{[\mathcal{T}_{grd,ste}, \mathcal{R}_{grd,ste}]}{\text{arg min}} \sum_k^N \left(f_{i,j}(M_k) - \begin{pmatrix} c_k \\ l_k \end{pmatrix}_{i,j} \right)^2$$



{Manuscrit p 113}

Points d'appui

Point possédant des coordonnées connues (idéalement avec une précision).

Points d'appui

Point possédant des coordonnées connues (idéalement avec une précision).


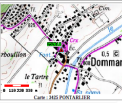
- Données externes disponibles
 - Données IGN disponibles (gratuitement) :
 - Repère de nivellement (330 000)
 - Site Géodésique de détail (40 000)

IGN Réseau Géodésique Français

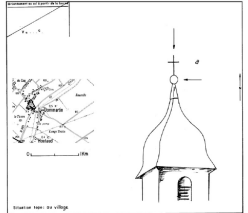
DOMMARTIN A

Département : DEUX-ÈS
 Commune : DOMMARTIN
 Lieu-dit :

No de Site : 25201A
 Site de : Niveau de détail

Adresse de l'œuvre de base : 109 m
 Carte : 100 PONTAUBERT



Situation dans le village

IGN Réseau Géodésique Français

DOMMARTIN A

Point : a

Clé de : Centre locale
 Point ne se place en 2003

Attention
 Compte tenu des risques de déplacement des bornes ou autres points géodésiques, il est indispensable de collecter vos coordonnées de repères à plusieurs points géodésiques proches, ceci afin de limiter le risque de leur stabilité.
 La responsabilité de l'usage de ces données appartient à l'utilisateur et non à IGN.
 Toute remarque concernant la destruction, la dégradation ou le mauvais état des points géodésiques doit être signalée au Service de la Gestion et des Travaux de l'IGN.

Système : ETRS 89 - Ellipsoïde : IAG CRS 1980 - Méridien origine : GREENWICH

Point	Longitude (dm)	Latitude (dm)	Hauteur (m)	Précision
a	10 26,0389° E	49 52 25,3100° N	104,63	< 50 cm

Système : ETRS 89 - Projection : LAMBERT 89 - Système altimétrique : NGF-IGN 1980

Point	e (m)	n (m)	Précision plan	Altitude (m)	Précision alti
a	96198,65	8652125,90	< 10 cm	104,63	< 30 cm

Points d'appui

Point possédant des coordonnées connues (idéalement avec une précision).

- Données externes disponibles
 - Données IGN disponibles (gratuitement) :
 - Repère de nivellement (330 000)
 - Site Géodésique de détail (40 000)
 - Données libres :
 - OpenStreetMap

The screenshot shows the OpenStreetMap web interface. On the left, there is a sidebar with a search bar, a logo, and various navigation and utility links. The main content area is divided into a header, a 'Données' (Data) section, and a 'Détails' (Details) section. The 'Données' section contains buttons for 'Fermer', 'Sélectionner manuellement une zone différente', and 'Masquer les zones'. The 'Détails' section displays metadata for a specific point, including its CLC code, ID, year, land use, and source. A map on the right shows a village with a blue overlay on a specific location. The bottom of the page features a scale bar and a copyright notice.

Voir Modifier Historique Connexion S'inscrire

Données Fermer

Sélectionner manuellement une zone différente

Masquer les zones

Chemin 42010492 Détails

CLC:code: 231
CLC:Id: FR-109401
CLC:year: 2006
landuse: meadow
source: Union européenne - SOVS, CORINE
Land Cover: 2006.
[Afficher l'historique](#)

Revenir à la liste d'objets

Aide
Carte d'aide
Documentation
Communautés
Blogs de la communauté
La Fondation
Journaux
Données
Copyright & Licence
Exporter les données
Traces GPS

♥ **Faire un don**

Le téléchargement est pris en charge par le VU Centre de l'UCL, le Collège Impérial de Londres et le Département Géomatique, et d'autres partenaires.

© Contributeurs de OpenStreetMap

Points d'appui

Point possédant des coordonnées connues (idéalement avec une précision).

- Données externes disponibles
 - Données IGN disponibles (gratuitement) :
 - Repère de nivellement (330 000)
 - Site Géodésique de détail (40 000)
 - Données libres :
 - OpenStreetMap
- Points mesurés en utilisant les détails visibles des photos par des techniques traditionnelles de topométrie

Points d'appui

Point possédant des coordonnées connues (idéalement avec une précision).

- Données externes disponibles
 - Données IGN disponibles (gratuitement) :
 - Repère de nivellement (330 000)
 - Site Géodésique de détail (40 000)
 - Données libres :
 - OpenStreetMap
- Points mesurés en utilisant les détails visibles des photos par des techniques traditionnelles de topométrie
 - Nivellement



Points d'appui

Point possédant des coordonnées connues (idéalement avec une précision).

- Données externes disponibles
 - Données IGN disponibles (gratuitement) :
 - Repère de nivellement (330 000)
 - Site Géodésique de détail (40 000)
 - Données libres :
 - OpenStreetMap
- Points mesurés en utilisant les détails visibles des photos par des techniques traditionnelles de topométrie
 - Nivellement
 - Tachéomètre



Points d'appui

Point possédant des coordonnées connues (idéalement avec une précision).

- Données externes disponibles
 - Données IGN disponibles (gratuitement) :
 - Repère de nivellement (330 000)
 - Site Géodésique de détail (40 000)
 - Données libres :
 - OpenStreetMap
- Points mesurés en utilisant les détails visibles des photos par des techniques traditionnelles de topométrie
 - Nivellement
 - Tachéomètre
 - GPS

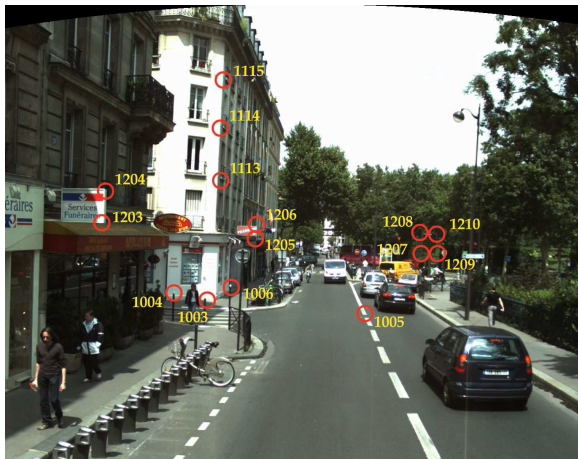


Points d'appui

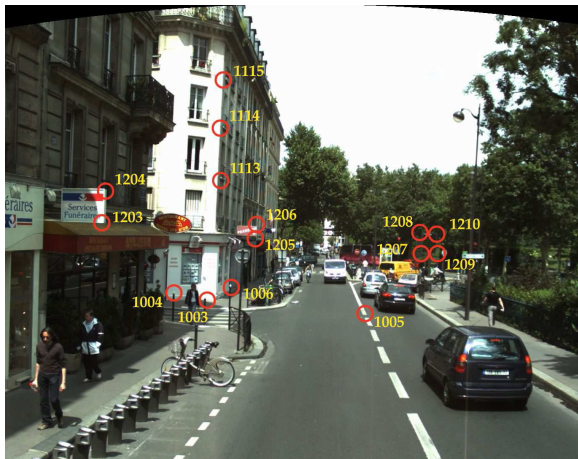
Point possédant des coordonnées connues (idéalement avec une précision).

- Données externes disponibles
 - Données IGN disponibles (gratuitement) :
 - Repère de nivellement (330 000)
 - Site Géodésique de détail (40 000)
 - Données libres :
 - OpenStreetMap
- Points mesurés en utilisant les détails visibles des photos par des techniques traditionnelles de topométrie
 - Nivellement
 - Tachéomètre
 - GPS
- Points déterminés à partir d'anciennes missions (repiquage)

Points d'appui : exemples

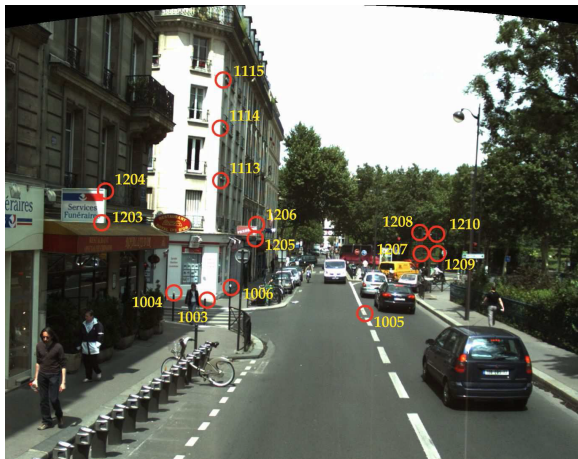


Points d'appui : exemples



- Mesures dans les images réalisées par un opérateur

Points d'appui : exemples

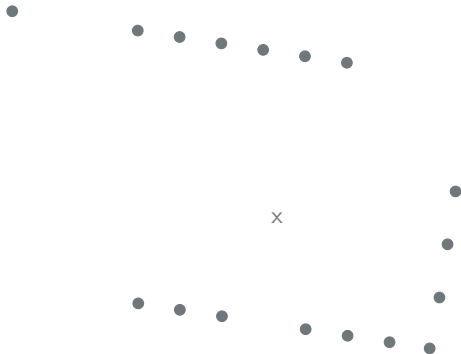


- Mesures dans les images réalisées par un opérateur
 - Assisté pour la saisie grâce à la position fournie par le système de positionnement (quelques dizaines de pixels)

Estimation de la précision

Expérimentations :

- 17 points d'appui
- 680 configurations testées

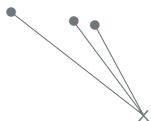


Estimation de la précision

Expérimentations :

- 17 points d'appui
- 680 configurations testées

Cas de divergence



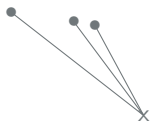
71 cas

Estimation de la précision

Expérimentations :

- 17 points d'appui
- 680 configurations testées

Cas de divergence



71 cas

Cas de convergence imprécise



3 % > 10 cm

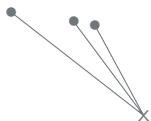
4 % > 5 cm et < 10 cm

Estimation de la précision

Expérimentations :

- 17 points d'appui
- 680 configurations testées

Cas de divergence



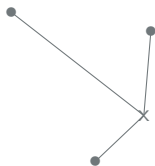
71 cas

Cas de convergence imprécise



3 % > 10 cm
4 % > 5 cm et < 10 cm

Cas de convergence optimale



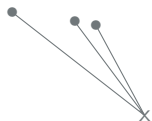
46.5 % > 1 cm et < 5 cm
46.5 % < 1 cm

Estimation de la précision

Expérimentations :

- 17 points d'appui
- 680 configurations testées

Cas de divergence



71 cas

Cas de convergence imprécise



3 % > 10 cm
4 % > 5 cm et < 10 cm

Cas de convergence optimale



46.5 % > 1 cm et < 5 cm
46.5 % < 1 cm

Conclusion



Processus très précis

- Mieux que le cm lorsque la configuration des points est optimale



Nécessite 3 points d'appui

Recalage en absolu : *Recalage ponctuel de trajectoire*

Recalage ponctuel de trajectoire : Principe



Recalage ponctuel de trajectoire : Principe



- calculer un ou plusieurs relèvements sur une trajectoire

Recalage ponctuel de trajectoire : Principe



- calculer un ou plusieurs relèvements sur une trajectoire
- recalcr la trajectoire sur les panoramiques relevées

Recalage ponctuel de trajectoire : Principe



- calculer un ou plusieurs relèvements sur une trajectoire
- recalcr la trajectoire sur les panoramiques relevées

Systeme à minimiser

$$\left\{ \begin{array}{l} A = R_A \end{array} \right.$$

Recalage ponctuel de trajectoire : Principe



- calculer un ou plusieurs relèvements sur une trajectoire
- recalcr la trajectoire sur les panoramiques relevées

Système à minimiser

$$\left\{ \begin{array}{l} A = R_A \\ B - A = \delta_{AB} \\ C - B = \delta_{BC} \\ D - C = \delta_{CD} \end{array} \right.$$

Recalage ponctuel de trajectoire : Principe



- calculer un ou plusieurs relèvements sur une trajectoire
- recalcr la trajectoire sur les panoramiques relevées

Système à minimiser

$$\left\{ \begin{array}{l} A = R_A \\ B - A = \delta_{AB} \\ C - B = \delta_{BC} \\ D - C = \delta_{CD} \end{array} \right.$$

Conclusion

- ✓ Amélioration globale du positionnement
 - x 2
- ✗ Pas de maîtrise de la précision pour les panoramiques éloignées du relèvement

Recalage en relatif

Recalage en relatif : *Recalage intermédiaire*

Principe du recalage intermédiaire

- Utiliser l'information de redondance :
 - Passages multiples dans une même rue.
 - Intersections.
- Estimer, grâce à l'image, l'écart réel entre les panoramiques

Principe du recalage intermédiaire

- Utiliser l'information de redondance :
 - Passages multiples dans une même rue.
 - Intersections.
- Estimer, grâce à l'image, l'écart réel entre les panoramiques

Avant

Après

Intersection



Multi-passages



Stratégies possibles

Stratégies possibles

- Compensation par faisceaux
 - + Précis
 - Complexe
 - Long

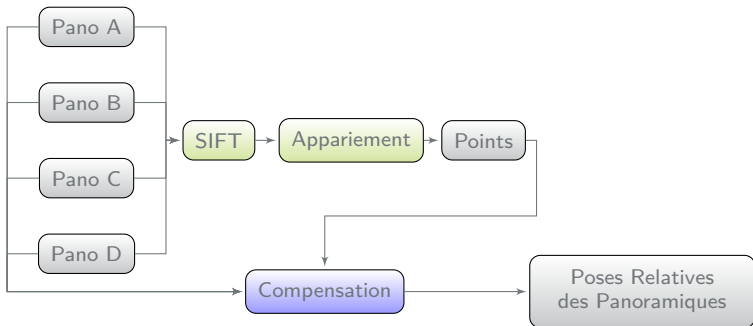
Stratégies possibles

- Compensation par faisceaux
 - + Précis
 - Complexe
 - Long
- Recalage 3D/3D
 - + Simple et fiable (avec des coordonnées 3D précises (laser par exemple))
 - La position 3D des points homologues n'est pas toujours bien déterminée (angle fait par les faisceaux petits)

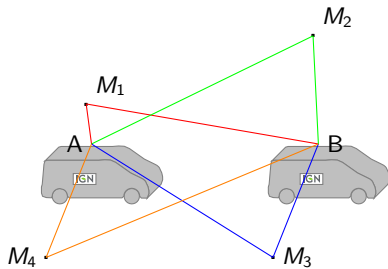
Stratégies possibles

- Compensation par faisceaux
 - + Précis
 - Complexe
 - Long
- Recalage 3D/3D
 - + Simple et fiable (avec des coordonnées 3D précises (laser par exemple))
 - La position 3D des points homologues n'est pas toujours bien déterminée (angle fait par les faisceaux petits)
- Développement d'une solution intermédiaire

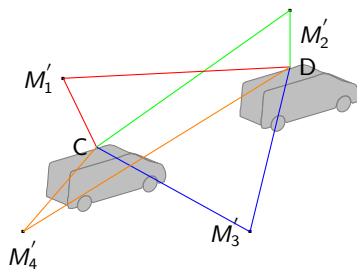
Notre algorithme de recalage local : Principe



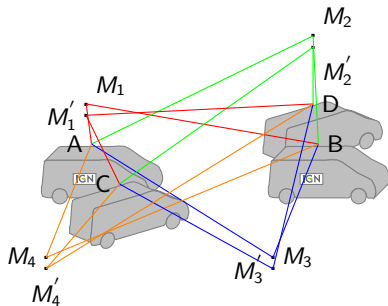
Notre algorithme de recalage local : Illustration



Notre algorithme de recalage local : Illustration



Notre algorithme de recalage local : Illustration



Notre algorithme de recalage local : Mathématique

- AB couple issu d'un premier passage
- CD couple issu d'un second passage

Système à minimiser

$$\left\{ \begin{array}{l} S_A = S_{A,ini} \\ S_B = S_{B,ini} \\ S_D - S_C = \delta S_{CD} \\ \sum_{k=0}^{Nm} f_{i,j}(M_k) = \begin{pmatrix} c_k \\ l_k \end{pmatrix}_{i,j} \end{array} \right.$$

Notre algorithme de recalage local : Mathématique

- AB couple issu d'un premier passage
- CD couple issu d'un second passage

Système à minimiser

$$\left\{ \begin{array}{l} S_A = S_{A,ini} \\ S_B = S_{B,ini} \\ S_D - S_C = \delta S_{CD} \\ \sum_{k=0}^{Nm} f_{i,j}(M_k) = \begin{pmatrix} c_k \\ l_k \end{pmatrix}_{i,j} \end{array} \right.$$

- 24 inconnues de panoramiques $((3+3)*4)$
- 3M inconnues de points
- 12 observations de relation $((3+3)*2)$
- 8M observations photogrammétriques (2 par pano)

Notre algorithme de recalage local : Mathématique

- AB couple issu d'un premier passage
- CD couple issu d'un second passage

Système à minimiser

$$\left\{ \begin{array}{l} S_A = S_{A,ini} \\ S_B = S_{B,ini} \\ S_D - S_C = \delta S_{CD} \\ \sum_{k=0}^{Nm} f_{i,j}(M_k) = \begin{pmatrix} c_k \\ l_k \end{pmatrix}_{i,j} \end{array} \right.$$

- 24 inconnues de panoramiques $((3+3)*4)$
- 3M inconnues de points
- 12 observations de relation $((3+3)*2)$
- 8M observations photogrammétriques (2 par pano)
- 3 points minimum pour un calcul

Notre algorithme de recalage local : Algorithme

Paramètres

s_{max} seuil initial qui permet d'éliminer les mesures "erronées"

s_{min} seuil final d'élimination des mesures "erronées"

$iter_{max}$ nombre maximum d'itérations

Déroulement

- $s = s_{max}$
- Récupération des mesures communes aux 4 panoramiques
- Pour $i=1$ à Nb_{max}
 - Pour $j=1$ à $Nb_{mesures}$
 - Elimination mesure si résidu $> s$
 - Moindres carrées
 - MAJ résidus
 - $s = s_{max} - (s_{max} - s_{min}) * i / iter_{max}$

Notre algorithme de recalage local : Algorithme

Valeurs choisies

s_{max} fixée à 200 pixels (pas sensible)

Nb_{max} fixée à 20 (convergence après - de 10 itérations) (pas sensible)

s_{min} fixée à 3 pixels

Notre algorithme de recalage local : Algorithme

Valeurs choisies

s_{max} fixée à 200 pixels (pas sensible)

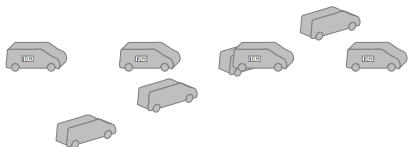
Nb_{max} fixée à 20 (convergence après - de 10 itérations) (pas sensible)

s_{min} fixée à 3 pixels

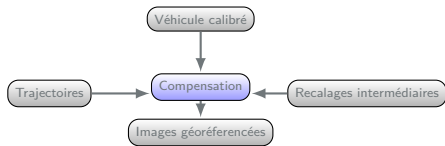
Seuil (pix.)	<u>Cas 1 :</u> passages multi-temporels		<u>Cas 2 :</u> intersection	
	Mes. fausses Actives	Mes. vraies Inactives	Mes. fausses Actives	Mes. vraies Inactives
1	6	110	1	26
2	8	17	2	18
3	7	10	4	5
4	9	1	3	3
5	9	1	2	4
6	10	5	2	2
7	10	2	2	0

Recalage en relatif : *Recalage multi-passages*

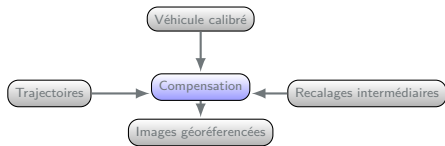
Recalage multi-passages : Principe



- trajectoires ayant des parties communes
 - carrefour
 - rues parcourues plusieurs fois

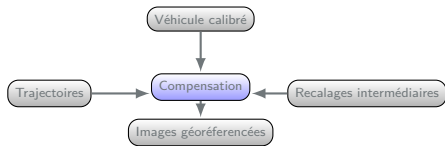
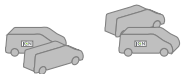


Recalage multi-passages : Principe



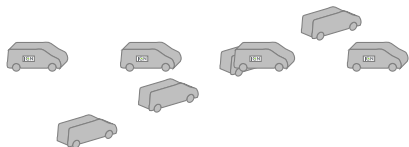
- trajectoires ayant des parties communes
 - carrefour
 - rues parcourues plusieurs fois
- sélection des zones

Recalage multi-passages : Principe

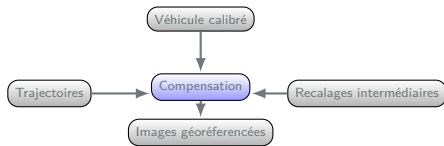


- trajectoires ayant des parties communes
 - carrefour
 - rues parcourues plusieurs fois
- sélection des zones
- calculs de recalages intermédiaires

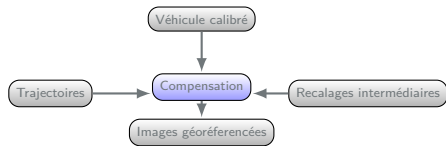
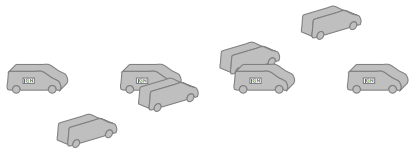
Recalage multi-passages : Principe



- trajectoires ayant des parties communes
 - carrefour
 - rues parcourues plusieurs fois
- sélection des zones
- calculs de recalages intermédiaires
- application à toute la trajectoire



Recalage multi-passages : Principe



- trajectoires ayant des parties communes
 - carrefour
 - rues parcourues plusieurs fois
- sélection des zones
- calculs de recalages intermédiaires
- application à toute la trajectoire

Choix des zones de recalages

Prise en compte de la redondance afin de recalibrer les différents passages entre eux en utilisant l'image

Choix des zones de recalages

Prise en compte de la redondance afin de recaler les différents passages entre eux en utilisant l'image

- ④ Création du graphe de panoramiques

Création du Graphe de Panoramiques

Problème

- Comment détecter les zones où plusieurs acquisitions ont été faites :
 - Précision de positionnement pas suffisante
 - Connaissance unique de la panoramique précédente et suivante

Création du Graphe de Panoramiques

Problème

- Comment détecter les zones où plusieurs acquisitions ont été faites :
 - Précision de positionnement pas suffisante
 - Connaissance unique de la panoramique précédente et suivante

Solutions

Création du Graphe de Panoramiques

Problème

- Comment détecter les zones où plusieurs acquisitions ont été faites :
 - Précision de positionnement pas suffisante
 - Connaissance unique de la panoramique précédente et suivante

Solutions

- Avec des données externe :

Création du Graphe de Panoramiques

Problème

- Comment détecter les zones où plusieurs acquisitions ont été faites :
 - Précision de positionnement pas suffisante
 - Connaissance unique de la panoramique précédente et suivante

Solutions

- Avec des données externe :
 - BD Topo (IGN)

Création du Graphe de Panoramiques

Problème

- Comment détecter les zones où plusieurs acquisitions ont été faites :
 - Précision de positionnement pas suffisante
 - Connaissance unique de la panoramique précédente et suivante

Solutions

- Avec des données externe :
 - BD Topo (IGN)
 - BD Cartographique

Création du Graphe de Panoramiques

Problème

- Comment détecter les zones où plusieurs acquisitions ont été faites :
 - Précision de positionnement pas suffisante
 - Connaissance unique de la panoramique précédente et suivante

Solutions

- Avec des données externe :
 - BD Topo (IGN)
 - BD Cartographique
- Avec des considérations géométriques :

Création du Graphe de Panoramiques

Problème

- Comment détecter les zones où plusieurs acquisitions ont été faites :
 - Précision de positionnement pas suffisante
 - Connaissance unique de la panoramique précédente et suivante

Solutions

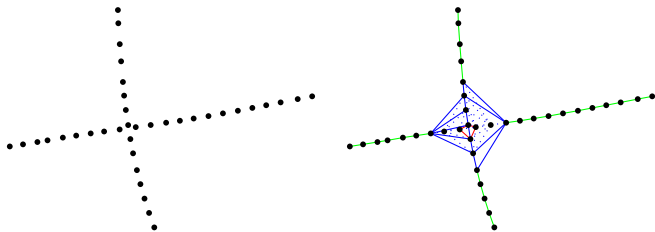
- Avec des données externe :
 - BD Topo (IGN)
 - BD Cartographique
- Avec des considérations géométriques :
 - Utilisation d'Alpha Shape (Edelsbrunner and Mücke, 1994)



(Da and Yvinec, 2012)

Principe de l'Alpha Shape

- Triangulation du nuage de panoramiques (Delaunay)
- Classification des arêtes en fonction d'un unique critère α
 - Extérieure : l'arête n'appartient pas à l'Alpha Shape,
 - Intérieure : l'arête appartient à l'Alpha Shape et toutes les faces la contenant appartiennent à l'Alpha Shape,
 - Frontière : l'arête appartient à l'Alpha Shape et aucune face la contenant n'appartient à l'Alpha Shape,
 - Normale : (toutes les autres) l'arête appartient à l'Alpha Shape et certaines faces la contenant appartiennent à l'Alpha Shape et d'autres non.



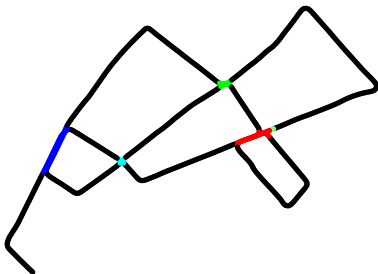
Détermination de α

α (en m)	Zone 1	Zone 2	Zone 3
2			
15			
22			

Choix des zones de recalages

Prise en compte de la redondance afin de recalcr les différents passages entre eux en utilisant l'image

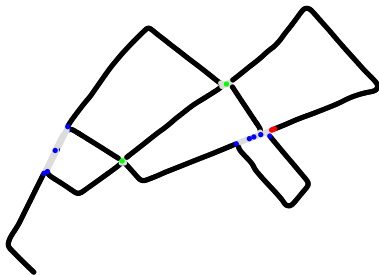
- 1 Création du graphe de panoramiques
- 2 Identification des zones à recalcr :



Choix des zones de recalages

Prise en compte de la redondance afin de recalrer les différents passages entre eux en utilisant l'image

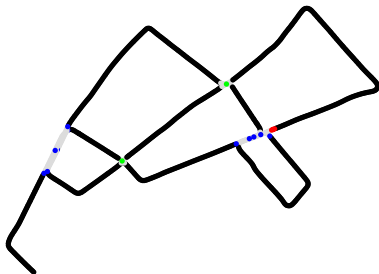
- 1 Création du graphe de panoramiques
- 2 Identification des zones à recalrer :
 - Elimination des arêtes normales de l'AS (en noir)



Choix des zones de recalages

Prise en compte de la redondance afin de recaler les différents passages entre eux en utilisant l'image

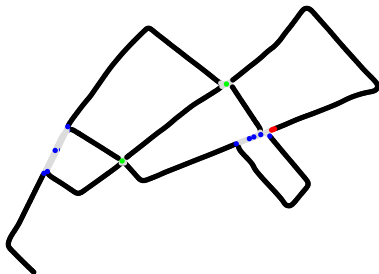
- 1 Création du graphe de panoramiques
- 2 Identification des zones à recaler :
 - Elimination des arêtes normales de l'AS (en noir)
 - Calcul des composantes connexes du graphe et tri :



Choix des zones de recalages

Prise en compte de la redondance afin de recaler les différents passages entre eux en utilisant l'image

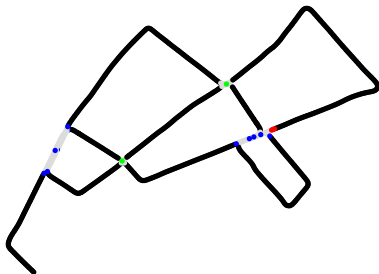
- 1 Création du graphe de panoramiques
- 2 Identification des zones à recaler :
 - Elimination des arêtes normales de l'AS (en noir)
 - Calcul des composantes connexes du graphe et tri :
 - Petite composante connexe et même trajectoire : pas de recalage (en rouge)



Choix des zones de recalages

Prise en compte de la redondance afin de recaler les différents passages entre eux en utilisant l'image

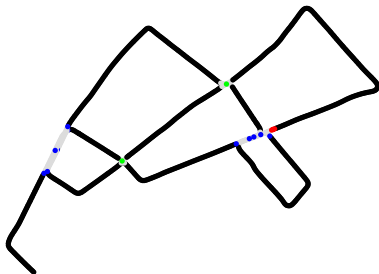
- 1 Création du graphe de panoramiques
- 2 Identification des zones à recaler :
 - Elimination des arêtes normales de l'AS (en noir)
 - Calcul des composantes connexes du graphe et tri :
 - Petite composante connexe et même trajectoire : pas de recalage (en rouge)
 - Petite composante connexe et trajectoires différentes : recalage unique (en vert)



Choix des zones de recalages

Prise en compte de la redondance afin de recalcr les différents passages entre eux en utilisant l'image

- 1 Création du graphe de panoramiques
- 2 Identification des zones à recalcr :
 - Elimination des arêtes normales de l'AS (en noir)
 - Calcul des composantes connexes du graphe et tri :
 - Petite composante connexe et même trajectoire : pas de recalcr (en rouge)
 - Petite composante connexe et trajectoires différentes : recalcr unique (en vert)
 - Grosse composante connexe (même trajectoire ou trajectoires différentes) : recalcrs périodiques (en bleu)



Choix des zones de recalages

Prise en compte de la redondance afin de recaler les différents passages entre eux en utilisant l'image

- ① Création du graphe de panoramiques
- ② Identification des zones à recaler :
 - Elimination des arêtes normales de l'AS (en noir)
 - Calcul des composantes connexes du graphe et tri :
 - Petite composante connexe et même trajectoire : pas de recalage (en rouge)
 - Petite composante connexe et trajectoires différentes : recalage unique (en vert)
 - Grosse composante connexe (même trajectoire ou trajectoires différentes) : recalages périodiques (en bleu)
- ③ Algorithme de recalage local sur chaque zone identifiée

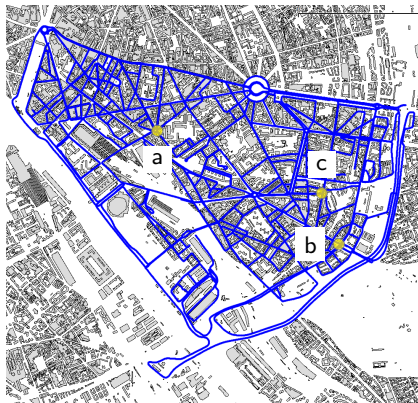
Choix des zones de recalages

Prise en compte de la redondance afin de recalcr les différents passages entre eux en utilisant l'image

- ① Création du graphe de panoramiques
- ② Identification des zones à recalcr :
 - Elimination des arêtes normales de l'AS (en noir)
 - Calcul des composantes connexes du graphe et tri :
 - Petite composante connexe et même trajectoire : pas de recalcr (en rouge)
 - Petite composante connexe et trajectoires différentes : recalcr unique (en vert)
 - Grosse composante connexe (même trajectoire ou trajectoires différentes) : recalages périodiques (en bleu)
- ③ Algorithme de recalcr local sur chaque zone identifiée
- ④ Recalcr total prenant en compte les recalages locaux et la trajectoire

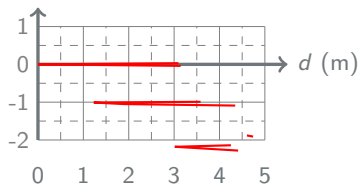
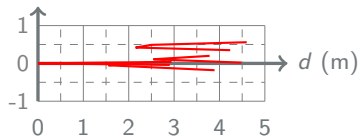
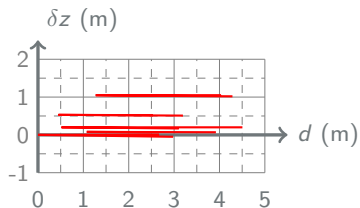
Expérimentations

Plan de la zone

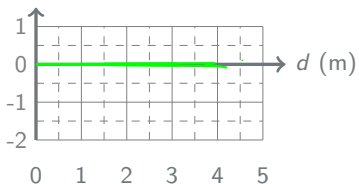
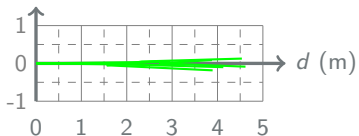
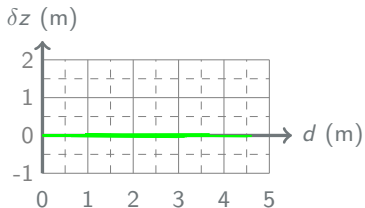


Résultats

Avant Recalage Relatif



Après Recalage Relatif



Conclusion

- + Permet d'améliorer le géoréférencement en relatif
- + Rapide
- + Suffisant pour certaines applications
 - texturation
 - mise en cohérence de données multi-époques.

Recalage interne/externe

Intégration de mesures images dans le recalage : Principe

- Prendre toutes les panoramiques

Intégration de mesures images dans le recalage : Principe

- Prendre toutes les panoramiques
- Conserver l'allure de la trajectoire

Intégration de mesures images dans le recalage : Principe

- Prendre toutes les panoramiques
- Conserver l'allure de la trajectoire
- Mesurer quelques points d'appui

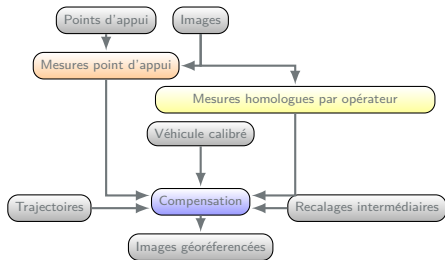
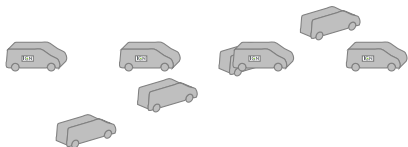
Intégration de mesures images dans le recalage : Principe

- Prendre toutes les panoramiques
- Conserver l'allure de la trajectoire
- Mesurer quelques points d'appui
- Intégrer les recalages intermédiaires

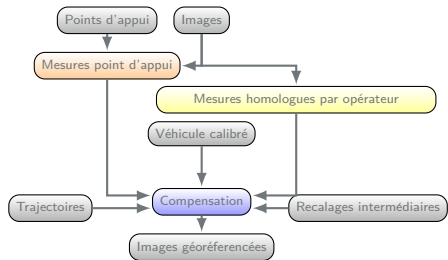
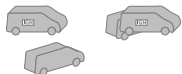
Intégration de mesures images dans le recalage : Principe

- Prendre toutes les panoramiques
- Conserver l'allure de la trajectoire
- Mesurer quelques points d'appui
- Intégrer les recalages intermédiaires
- Incorporer les mesures saisies par un opérateur dans la compensation
 - issues de la restitution par exemple

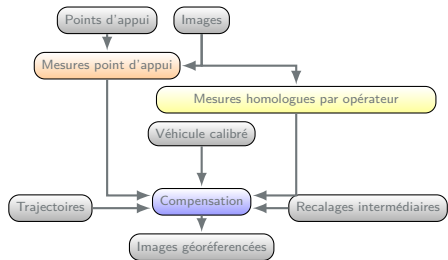
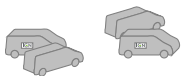
Intégration de mesures images dans le recalage : Principe



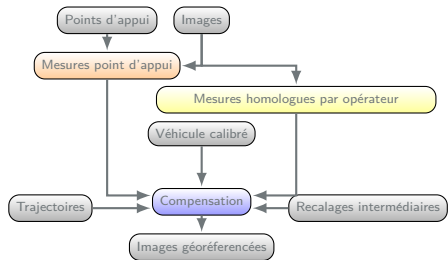
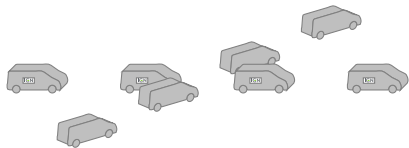
Intégration de mesures images dans le recalage : Principe



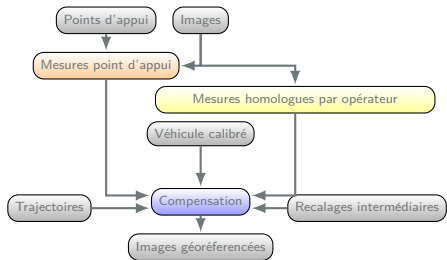
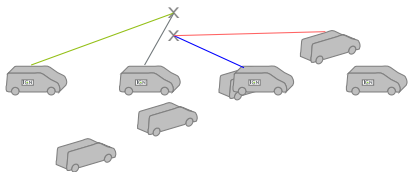
Intégration de mesures images dans le recalage : Principe



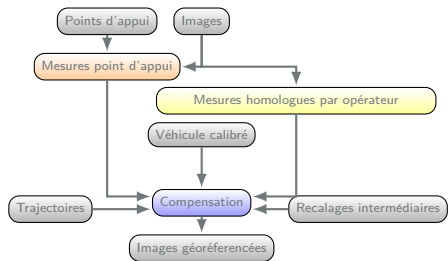
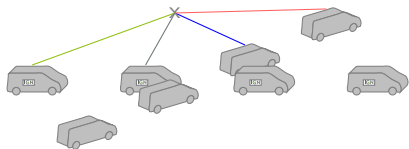
Intégration de mesures images dans le recalage : Principe



Intégration de mesures images dans le recalage : Principe

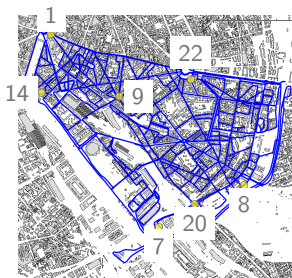


Intégration de mesures images dans le recalage : Principe



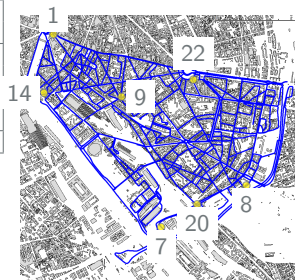
Expérimentations

- 46750 panoramiques réparties en 39 trajectoires
- 7 passages piétons comportant plus de 25 points connus en 3D
- 6 passages mis en appui et 1 un contrôle



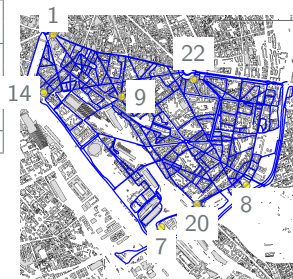
Résultats

Zone	Résidus 3D (m)		Résidus Images (pix)		Sol.
	moy.	éc. type	moy.	éc. type	
1	0,42	0,054	12,49	7,27	Ini
	0,06	0,005	0,37	0,23	Alg.
7	0,44	0,036	5,16	3,10	Ini
	0,59	0,007	0,43	0,27	Alg.
...



Résultats

Zone	Résidus 3D (m)		Résidus Images (pix)		Sol.
	moy.	éc. type	moy.	éc. type	
1	0,42	0,054	12,49	7,27	Ini
	0,06	0,005	0,37	0,23	Alg.
7	0,44	0,036	5,16	3,10	Ini
	0,59	0,007	0,43	0,27	Alg.
...

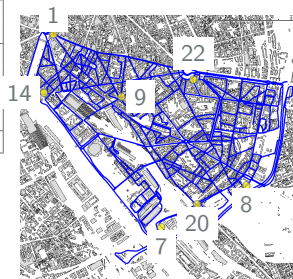


Conclusion

- Améliore la précision des objets mesurés

Résultats

Zone	Résidus 3D (m)		Résidus Images (pix)		Sol.
	moy.	éc. type	moy.	éc. type	
1	0,42	0,054	12,49	7,27	Ini
	0,06	0,005	0,37	0,23	Alg.
7	0,44	0,036	5,16	3,10	Ini
	0,59	0,007	0,43	0,27	Alg.
...

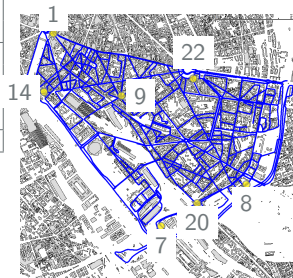


Conclusion

- Améliore la précision des objets mesurés
- Améliore le positionnement des objets relatif

Résultats

Zone	Résidus 3D (m)		Résidus Images (pix)		Sol.
	moy.	éc. type	moy.	éc. type	
1	0,42	0,054	12,49	7,27	Ini
	0,06	0,005	0,37	0,23	Alg.
7	0,44	0,036	5,16	3,10	Ini
	0,59	0,007	0,43	0,27	Alg.
...

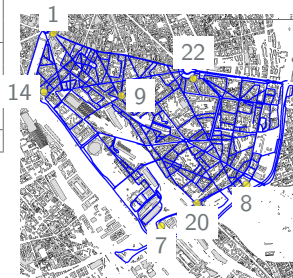


Conclusion

- Améliore la précision des objets mesurés
- Améliore le positionnement des objets relatif
- Améliore le positionnement des objets en absolu (la plupart du temps)

Résultats

Zone	Résidus 3D (m)		Résidus Images (pix)		Sol.
	moy.	éc. type	moy.	éc. type	
1	0,42	0,054	12,49	7,27	Ini
	0,06	0,005	0,37	0,23	Alg.
7	0,44	0,036	5,16	3,10	Ini
	0,59	0,007	0,43	0,27	Alg.
...

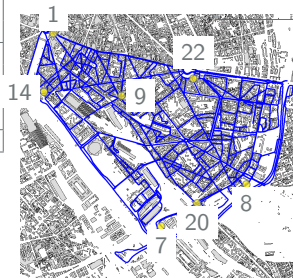


Conclusion

- Améliore la précision des objets mesurés
- Améliore le positionnement des objets relatif
- Améliore le positionnement des objets en absolu (la plupart du temps)
- Rapide (qq sec.)

Résultats

Zone	Résidus 3D (m)		Résidus Images (pix)		Sol.
	moy.	éc. type	moy.	éc. type	
1	0,42	0,054	12,49	7,27	Ini
	0,06	0,005	0,37	0,23	Alg.
7	0,44	0,036	5,16	3,10	Ini
	0,59	0,007	0,43	0,27	Alg.
...

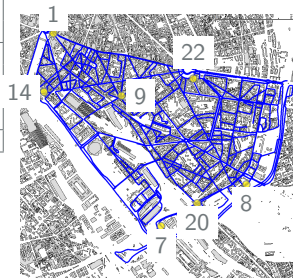


Conclusion

- Améliore la précision des objets mesurés
- Améliore le positionnement des objets relatif
- Améliore le positionnement des objets en absolu (la plupart du temps)
- Rapide (qq sec.)
 - Récupération des données, Compensation, MAJ des positions des panoramiques

Résultats

Zone	Résidus 3D (m)		Résidus Images (pix)		Sol.
	moy.	éc. type	moy.	éc. type	
1	0,42	0,054	12,49	7,27	Ini
	0,06	0,005	0,37	0,23	Alg.
7	0,44	0,036	5,16	3,10	Ini
	0,59	0,007	0,43	0,27	Alg.
...



Conclusion

- Améliore la précision des objets mesurés
- Améliore le positionnement des objets relatif
- Améliore le positionnement des objets en absolu (la plupart du temps)
- Rapide (qq sec.)
 - Récupération des données, Compensation, MAJ des positions des panoramiques
- On peut densifier le canevas de points d'appui en fonction du cahier des charges

Conclusion et Perspectives

Contributions

- Calibration de caméras {Manuscrit p 31}

Contributions

- Calibration de caméras {Manuscrit p 31}
- Calibration de véhicule de numérisation mobile terrestre
 - « Off-Line »
 - « On-Line »

Contributions

- Calibration de caméras {Manuscrit p 31}
- Calibration de véhicule de numérisation mobile terrestre
 - ◀ Off-Line ▶
 - ◀ On-Line ▶
- Méthodes de recalages

Contributions

- Calibration de caméras {Manuscrit p 31}
- Calibration de véhicule de numérisation mobile terrestre
 - ◀ **Off-Line** ▶
 - ◀ **On-Line** ▶
- Méthodes de recalages
 - En absolu

Contributions

- Calibration de caméras {Manuscrit p 31}
- Calibration de véhicule de numérisation mobile terrestre
 - ◀ Off-Line ▶
 - ◀ On-Line ▶
- Méthodes de recalages
 - En absolu
 - En relatif

Contributions

- Calibration de caméras {Manuscrit p 31}
- Calibration de véhicule de numérisation mobile terrestre
 - ◀ Off-Line ▶
 - ◀ On-Line ▶
- Méthodes de recalages
 - En absolu
 - En relatif
 - Conjointe

Contributions

- Calibration de caméras {Manuscrit p 31}
- Calibration de véhicule de numérisation mobile terrestre
 - ◀ Off-Line ▶
 - ◀ On-Line ▶
- Méthodes de recalages
 - En absolu
 - En relatif
 - Conjointe
- Gestion de gros Volumes de Données

Contributions

- Calibration de caméras {Manuscrit p 31}
- Calibration de véhicule de numérisation mobile terrestre
 - ◀ Off-Line ▶
 - ◀ On-Line ▶
- Méthodes de recalages
 - En absolu
 - En relatif
 - Conjointe
- Gestion de gros Volumes de Données
 - Utilisation conjointe Base de Données / Système de fichiers {Manuscrit p 31}

Contributions

- Calibration de caméras {Manuscrit p 31}
- Calibration de véhicule de numérisation mobile terrestre
 - « Off-Line »
 - « On-Line »
- Méthodes de recalages
 - En absolu
 - En relatif
 - Conjointe
- Gestion de gros Volumes de Données
 - Utilisation conjointe Base de Données / Système de fichiers {Manuscrit p 31}
 - Stratégies algorithmiques adaptées

Contributions

- Calibration de caméras {Manuscrit p 31}
- Calibration de véhicule de numérisation mobile terrestre
 - ◀ Off-Line ▶
 - ◀ On-Line ▶
- Méthodes de recalages
 - En absolu
 - En relatif
 - Conjointe
- Gestion de gros Volumes de Données
 - Utilisation conjointe Base de Données / Système de fichiers {Manuscrit p 31}
 - Stratégies algorithmiques adaptées
- Utilisable par toute plateforme possédant des caméras (pas d'hypothèse sur la configuration des caméras)

Perspectives

- Inclure l'image dans le calcul de trajectoire

1. Amélioration de la trajectoire

- L'image permet de mesurer les écarts entre passages successifs :

1. Amélioration de la trajectoire

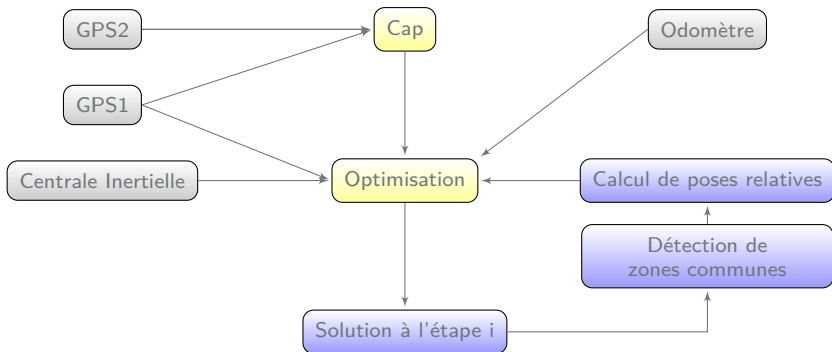
- L'image permet de mesurer les écarts entre passages successifs :
 - Intersections

1. Amélioration de la trajectoire

- L'image permet de mesurer les écarts entre passages successifs :
 - Intersections
 - Rues parcourues plusieurs fois (même sens ou non)

1. Amélioration de la trajectoire

- L'image permet de mesurer les écarts entre passages successifs :
 - Intersections
 - Rues parcourues plusieurs fois (même sens ou non)
- Inclure l'image dans le calcul de trajectoire



Perspectives

- Inclure l'image dans le calcul de trajectoire
- Compensation incluant la calibration de caméras ainsi que les incertitudes

2. Compensation complète

- Paramètres intrinsèques
 - Focale
 - PPA
 - Distorsion
- Position/Orientation des caméras par rapport au véhicule
- Position/Orientation du véhicule par rapport au terrain

2. Compensation complète

- Paramètres intrinsèques
 - focale
 - PPA
 - Distorsion
- Position/Orientation des caméras par rapport au véhicule
- Position/Orientation du véhicule par rapport au terrain

Précaution à prendre

- Liens entre les paramètres : focale+distorsion/position des caméras
- Stabilité numérique

2. Compensation complète

- Paramètres intrinsèques
 - Focale
 - PPA
 - Distorsion
- Position/Orientation des caméras par rapport au véhicule
- Position/Orientation du véhicule par rapport au terrain

Précaution à prendre

- Liens entre les paramètres : focale+distorsion/position des caméras
- Stabilité numérique

Gestion des incertitudes dans le calcul

- Calibration
- Montage mécanique
- Issue du système de positionnement (si on les connaît...)

Perspectives

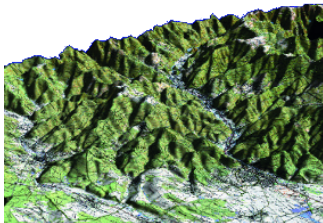
- Inclure l'image dans le calcul de trajectoire
- Compensation incluant la calibration de caméras ainsi que les incertitudes
- Inclusion d'autres sources de données pour s'affranchir de points d'appui

3. Amélioration de la précision

- Intégration de différentes sources de recalages

3. Amélioration de la précision

- Intégration de différentes sources de recalages
 - MNT

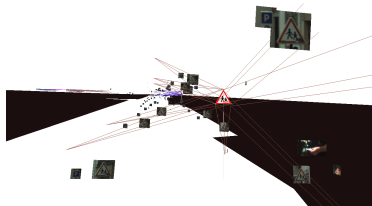


3. Amélioration de la précision

- Intégration de différentes sources de recalages
 - MNT
- Intégration d'autres primitives

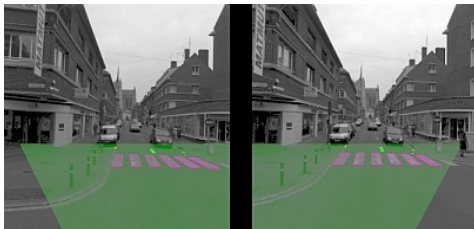
3. Amélioration de la précision

- Intégration de différentes sources de recalages
 - MNT
- Intégration d'autres primitives
 - Panneaux de signalisation (Soheilian et al., 2013)



3. Amélioration de la précision

- Intégration de différentes sources de recalages
 - MNT
- Intégration d'autres primitives
 - Panneaux de signalisation (Soheilian et al., 2013)
 - Passages piétons (Soheilian, 2008)



3. Amélioration de la précision

- Intégration de différentes sources de recalages
 - MNT
- Intégration d'autres primitives
 - Panneaux de signalisation (Soheilian et al., 2013)
 - Passages piétons (Soheilian, 2008)
- Intégration avec d'autres sources de données

3. Amélioration de la précision

- Intégration de différentes sources de recalages
 - MNT
- Intégration d'autres primitives
 - Panneaux de signalisation (Soheilian et al., 2013)
 - Passages piétons (Soheilian, 2008)
- Intégration avec d'autres sources de données
 - Images aériennes (Tournaire, 2007)
 - BD IGN (Monnier et al., 2013)



Perspectives

- Inclure l'image dans le calcul de trajectoire
- Compensation incluant la calibration de caméras ainsi que les incertitudes
- Inclusion d'autres sources de données pour s'affranchir de points d'appui
- Optimisation des temps de traitements pour être capable de traiter en une nuit l'acquisition d'une journée

Perspectives


- Inclure l'image dans le calcul de trajectoire
- Compensation incluant la calibration de caméras ainsi que les incertitudes
- Inclusion d'autres sources de données pour s'affranchir de points d'appui
- Optimisation des temps de traitements pour être capable de traiter en une nuit l'acquisition d'une journée

- Quelle précision pour la centrale inertielle ?

Perspectives

- Inclure l'image dans le calcul de trajectoire
- Compensation incluant la calibration de caméras ainsi que les incertitudes
- Inclusion d'autres sources de données pour s'affranchir de points d'appui
- Optimisation des temps de traitements pour être capable de traiter en une nuit l'acquisition d'une journée

- Quelle précision pour la centrale inertielle ?
- Quelle(s) densité(s) de points d'appui est (sont) nécessaire(s) pour une application donnée ?
 - Place de l'opérateur dans le processus



Merci pour votre attention

bertrand.cannelle@ign.fr

Bibliographies I

D. Anguelov, C. Dulong, D. Filip, C. Frueh, S. Lafon, R. Lyon, A. Ogale, L. Vincent, and J. Weaver. Google Street View : Capturing the World at Street Level. *Computer*, 43(6) :32–38, 2010. ISSN 0018-9162. doi : 10.1109/MC.2010.170.

Applanix. *POSLV Specifications*. Trimble, 2012.

A. Arlicot, B. Soheilian, and N. Paparoditis. Circular Road Sign Extraction from Street Level Images using Colour, Shape and Texture Database Maps. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII (Part 3/W4) :205–210, 2009.

S. Bénitez, E. Denis, and C. Baillard. Automatic Production of Occlusion-Free Rectified Facade Textures Using Vehicle-Based Imagery. In *Proc. of the ISPRS Commission III PCVIA*, Paris, France, 2010.

Carto3D. Carto 3D - cartographie 3D en ligne - IGN et Virtuel City. <http://www.carto3d.fr/>, 2012. accédé le : 08/10/2012.

T. K. F. Da and M. Yvinec. 3D Alpha Shapes. In *CGAL User and Reference Manual*. CGAL Editorial Board, 4.0 edition, 2012.

Bibliographies II

- A. Devaux and N. Paparoditis. Increasing interactivity in street view web navigation systems. In *ACM Multimedia*, Florence, Italie, Octobre 2010.
- A. Devaux, N. Paparoditis, and M. Bredif. A Web-Based 3D Mapping Application using WebGL allowing Interaction with Images, Point Clouds and Models. In *ACM SIGSPATIAL GIS*, pages 6–9, Redondo Beach, E.U., 2012.
- H. Edelsbrunner and E. P. Mücke. Three-dimensional alpha shapes. *ACM Transactions on Graphics*, 13(1) :43–72, Jan. 1994. ISSN 0730-0301. doi : 10.1145/174462.156635.
- S. Esquivel, F. Woelk, and R. Koch. Calibration of a multi-camera rig from non-overlapping views. In *Proceedings of the 29th Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Mustererkennung Conference on Pattern Recognition*, pages 82–91, Berlin, Heidelberg, 2007. ISBN 978-3-540-74933-2.
- C. Frueh, S. Jain, and A. Zakhor. Data processing algorithms for generating textured 3d building facade meshes from laser scans and camera images. *Int. J. Comput. Vision*, 61(2) :159–184, 2005.
- GeoAutomation, 2013. URL <http://www.geoautomation.com/>.

Bibliographies III

Google. Street View (Google).

<http://maps.google.fr/intl/fr/help/maps/streetview/>, 2012. accédé le : 08/10/2012.

G. Guennebaud, B. Jacob, et al. Eigen v3. <http://eigen.tuxfamily.org>, 2010.

A. Habib, A. P. Kersting, B. Bang, and J. Rau. A Novel Single-Step Procedure for the Calibration of the Mounting Parameters of a Muti-Camera Terrestrial Mobile Mapping System. In *Archives of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing*, volume 22, pages 173–195, 2011.

Immergis. Immergis - Mettez de la réalité dans vos données.

<http://www.immergis.fr/>, 2013. accédé le : 25/01/2013.

A. P. Kersting, A. Habib, and J. Rau. New method for the calibration of multi-camera mobile mapping system. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX (Part B 1) :121–126, 2012.

Bibliographies IV

- P. Lébraly, O. Ait-Aider, E. Royer, and M. Dhome. Comment calibrer extrinsèquement des caméras à champs non-recouvrants? Application pour un robot mobile. In *ORASIS - Congrès des jeunes chercheurs en vision par ordinateur*, Praz-sur-Arly, France, 2011.
- F. Monnier, B. Vallet, N. Paparoditis, J.-P. Papelard, and N. David. Recalage Non-Rigide de Données Laser de Cartographie Mobile sur une Base de Données 3D Géographiques. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, A paraitre, 2013.
- J. Rau, A. Habib, A. P. Kersting, K.-W. Chiang, K.-I. Bang, Y.-H. Tseng, and Y.-H. Li. Direct Sensor Orientation of a Land-Based Mobile Mapping System. *Sensors*, 11(7) :7243–7261, 2011.
- SIRADEL. SIRADEL. <http://www.siradel.com/>, 2012. accédé le : 08/10/2012.
- B. Soheilian. *Roadmark reconstruction from stereo-images acquired by a ground-based mobile mapping system*. PhD thesis, Université Paris-Est, 2008.

Bibliographies V

B. Soheilian, N. Paparoditis, and B. Vallet. Detection and 3d reconstruction of traffic signs from multiple view color images. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 77 :1 – 20, 2013.

Streetside. Streetside (Microsoft Bing Maps).

<http://www.microsoft.com/maps/fr-FR/streetside.aspx>, 2012. accédé le : 08/10/2012.

O. Tournaire. *Extraction 3D de marquages routiers à partir d'images aériennes multi-vues et quelques applications*. PhD thesis, Université Paris-Est, 2007.

Viametris. VIAMETRIS Numérisation et reconnaissance automatique de votre patrimoine routier : patrimoine routier, marquages au sol, panneaux...

<http://viametris.fr/index.php>, 2012. accédé le : 08/10/2012.

VirtuelCity. Virtuel City, L'expérience de la ville en 3D.

<http://www.virtuelcity.com/fr/>, 2012. accédé le : 08/10/2012.

P.-C. Wang, P.-C. Tsai, Y.-C. Chen, and Y.-H. Tseng. One-step and Two-step Calibration of a portable panoramic image mapping system. In *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2012.