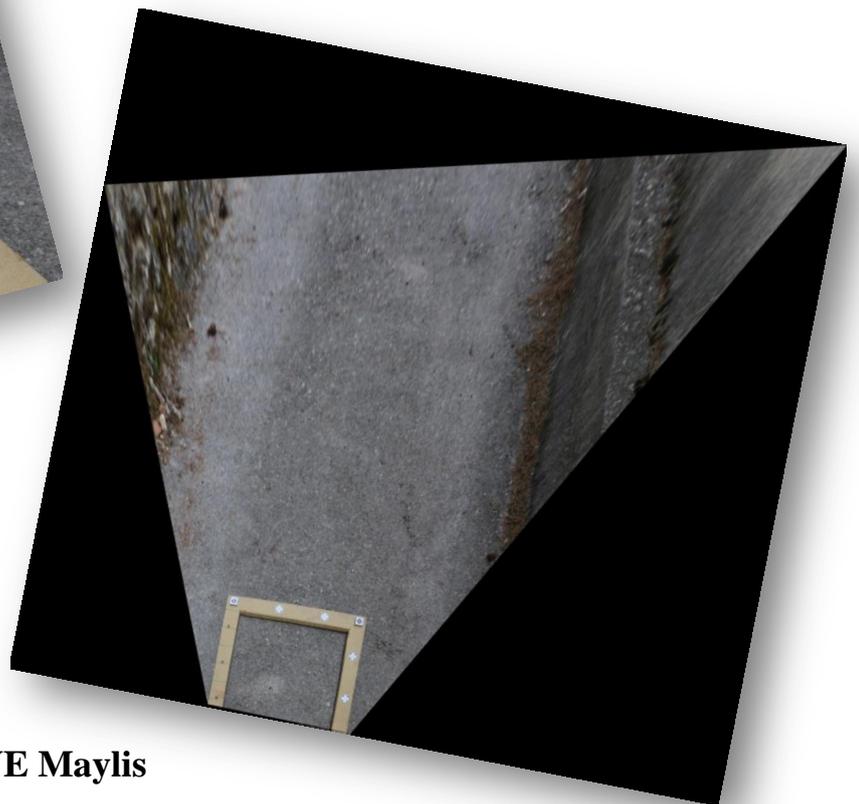


# Projet Ingénieurs 1ère année

## Photogrammétrie

---

*Système d'acquisition mobile et optimisation de la mise en place*



**BALTZ Hugo**  
**DUPONCHEL Gauthier**  
**MENUT Cédric**  
**TEYSSENDIER DE LA SERVE Maylis**

28/07/2015

---

## Sommaire

Introduction.....	2
I. Protocole .....	3
1. Problématique.....	3
2. Acquisition.....	4
a) Pré-calibration.....	4
b) Système d'acquisition.....	4
c) Caractéristiques de l'appareil photo .....	5
3. Méthode de calcul.....	6
a) Détermination de l'homographie.....	6
b) Application du protocole à un ensemble d'image .....	8
c) Scripts développés.....	11
II. Mise en œuvre et résultats .....	12
1. Premier chantier : Essais d'homographie au centre .....	12
2. Deuxième chantier : Différents angles.....	14
a) Angles induisant une prise de vue inclinée vers le sol .....	14
b) Angles induisant une prise de vue rasante .....	14
3. Troisième chantier : Rond-point.....	15
a) Contrôle de la mise en place .....	15
b) Mise en place d'images de points de vue opposés .....	16
c) Mise en place globale.....	18
III. Limites de notre protocole.....	19
1. Chantier important.....	19
2. Texture : .....	20
a) Ruelle à Saint-Maime .....	20
b) Pierrerie.....	21
Conclusion .....	22

## Introduction

Les systèmes d'acquisition mobiles se développent fortement, notamment dans la cadre de la modélisation urbaine. Ces système permettent une modélisation de l'ensemble de l'environnement urbain, comme les façades, la végétation, la signalisation verticale mais aussi de la voirie, les trottoirs et la signalisation horizontale.

Dans ces systèmes, la configuration d'acquisition de la route n'est pas optimale d'un point de vue photogrammétrique. Effectivement les prises de vues ne sont pas effectuées perpendiculairement au sol ce qui implique des visées rasantes et la présence de point de fuite dans les images.

Or, la mise en place d'images s'appuie sur la détection de points homologues dans les différentes images et le détecteur *SIFT* utilisé par le logiciel *micmac* est sensible aux différences de perspectives. Dès lors, cette étape de recherche de points de liaison s'avère complexe.

Notre objectif est de trouver un protocole qui permettra d'améliorer la recherche de points homologues entre images de la route acquises par un dispositif mobile et ainsi de faciliter leur mise en place.

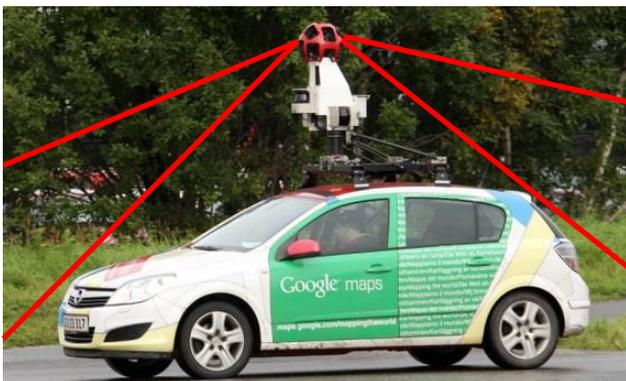


Figure 1 - Système d'acquisition mobile



Figure 2 - Image de la route avec point de fuite

## I. Protocole

### 1. Problématique

Afin de faciliter la recherche de points homologues, l'idée du projet est de corriger les images de cet effet de perspective afin d'obtenir des images comme si la prise de vue était perpendiculaire à la route (redressement dans le plan de la route). Comme l'illustre la figure 3, les détails observés présentent un aspect variable dans les images initiales [colonne de gauche] et un aspect constant dans les images « corrigées » [colonne de droite]. On suppose donc que le nombre et la qualité des points de liaison seront plus grands en travaillant avec les images « corrigées ».

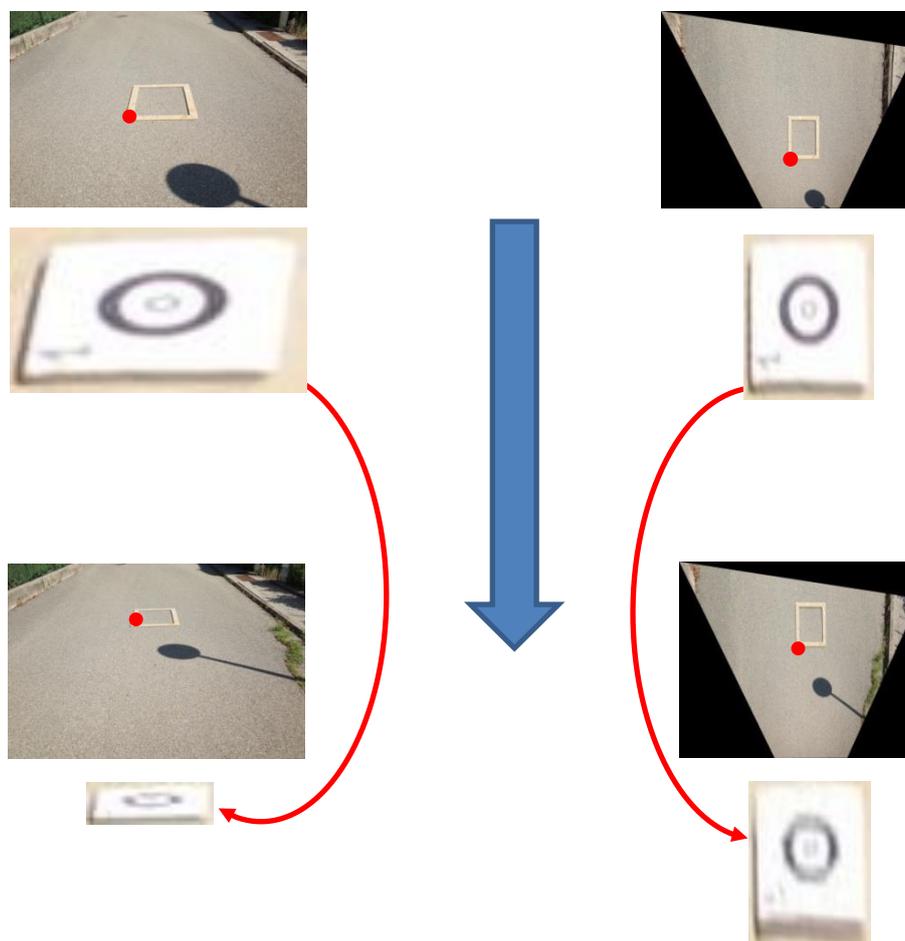


Figure 3 - Sans Protocole / Avec Protocole

Le protocole que l'on décide de mettre en place est donc le suivant :

- **Modifier les images par une homographie ;**
- **Chercher les points homologues sur ces nouvelles images ;**
- **Rapatrir les points calculés dans la géométrie des images initiales ;**
- **Mettre en place les images initiales.**

## 2. Acquisition

Notre projet sa place dans le cadre d'une acquisition mobile nécessitant les éléments suivant:

### a) Pré-calibration

La calibration consiste à déterminer les paramètres de la caméra lors de la prise de vue (distorsion, PPA, PPS). Ces éléments sont indispensables à la mise en place des images. Lors d'une prise de vue standard, *micmac* est capable de déterminer la calibration à partir des photos du chantier, c'est ce qu'on appelle l'auto-calibration. Cependant, nous travaillons sur des prises de vue rasantes, peu texturées et dont les objets photographiés sont plans. De ce fait, ce type de chantier est peu propice à l'auto-calibration et sans apport extérieur les calculs divergent. Une pré-calibration de la caméra sur une scène plus adaptée doit donc être effectuée. Elle est ensuite réutilisée sur les chantiers ayant les mêmes paramètres photographiques



Figure 4- Photos de calibration

### b) Système d'acquisition

L'objectif est de se placer dans un cadre d'acquisition mobile léger de la voirie. Le choix a donc été de positionner un support aimanté à l'arrière d'une voiture (partie moins sujette aux vibrations du véhicule).



Figure 5- Dispositif d'acquisition

Afin d'obtenir une liberté angulaire plus importante sur les prises de vues, nous avons augmenté la hauteur de ce support.

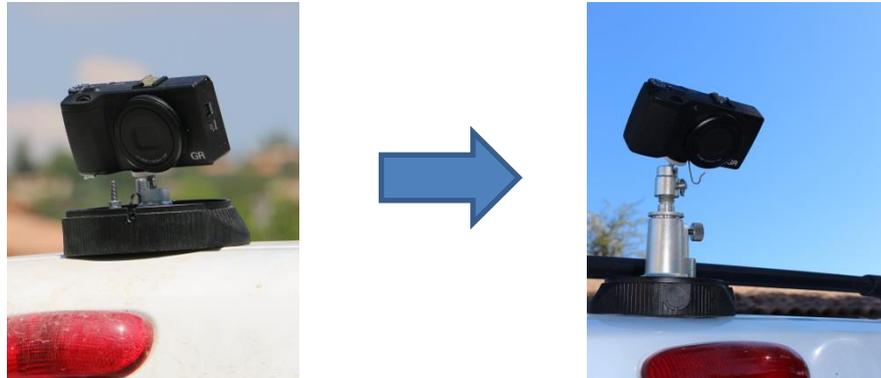


Figure 6- Caméra

Suivant la nature de notre homographie, un cadre a été utilisé dans nos chantiers (voir photo p4).

### *c) Caractéristiques de l'appareil photo*

Étant donné la nature du support ainsi que la contrainte de mobilité, nous avons choisi de travailler avec une caméra adaptée : le PENTAX RICOH IMAGING modèle GR. Cet appareil possède une focale fixe (18.3 mm) et présente l'avantage d'être léger.

Afin d'éviter au maximum le flou de bougé, nous avons imposé un temps de pose très faible (1/1000 sec). Pour limiter le bruit, nous avons fixé la vitesse ISO à 100. Le compromis est donc une ouverture du diaphragme assez forte (nombre d'ouverture à 4).

Le support de l'appareil étant fixe, le recouvrement de notre chantier dépend uniquement de la vitesse du véhicule et de la cadence des prises de vues. Concernant cette cadence, nous avons travaillé avec le plus petit intervalle de prise de vue autorisé par l'appareil : 1 seconde (ce qui implique une vitesse de progression très faible).

### 3. Méthode de calcul

#### a) Détermination de l'homographie

Une homographie entre deux plans est définie, à un facteur scalaire près, par la donnée de quatre points connus en coordonnées dans les deux repères. En effet, elle est définie par la formule suivante (h étant la matrice d'homographie) :

$$(u, v) = \left( \frac{h_{1,1} \cdot x + h_{1,2} \cdot y + h_{1,3}}{h_{3,1} \cdot x + h_{3,2} \cdot y + h_{3,3}}, \frac{h_{2,1} \cdot x + h_{2,2} \cdot y + h_{2,3}}{h_{3,1} \cdot x + h_{3,2} \cdot y + h_{3,3}} \right)$$

(Pour plus de détails sur la construction d'une homographie voir Annexe 1)

Pour calculer les 8 paramètres de notre homographie, nous avons donc besoin de quatre points mesurés dans une image (x,y) et de leur position dans le plan de la route (u,v). Deux solutions différentes ont été mises en œuvre :

- **Avec cadre :**

Dans un premier temps c'est un cadre de dimensions connues qui nous a permis de déterminer l'homographie. En effet, on relève la position des bords du cadre dans l'image de départ. On fixe la résolution de l'image d'arrivée au niveau du bas du cadre. Connaissant les coordonnées terrain du cadre grâce à ses dimensions, on donne les coordonnées de ses quatre coins dans un système arbitraire lié au cadre.

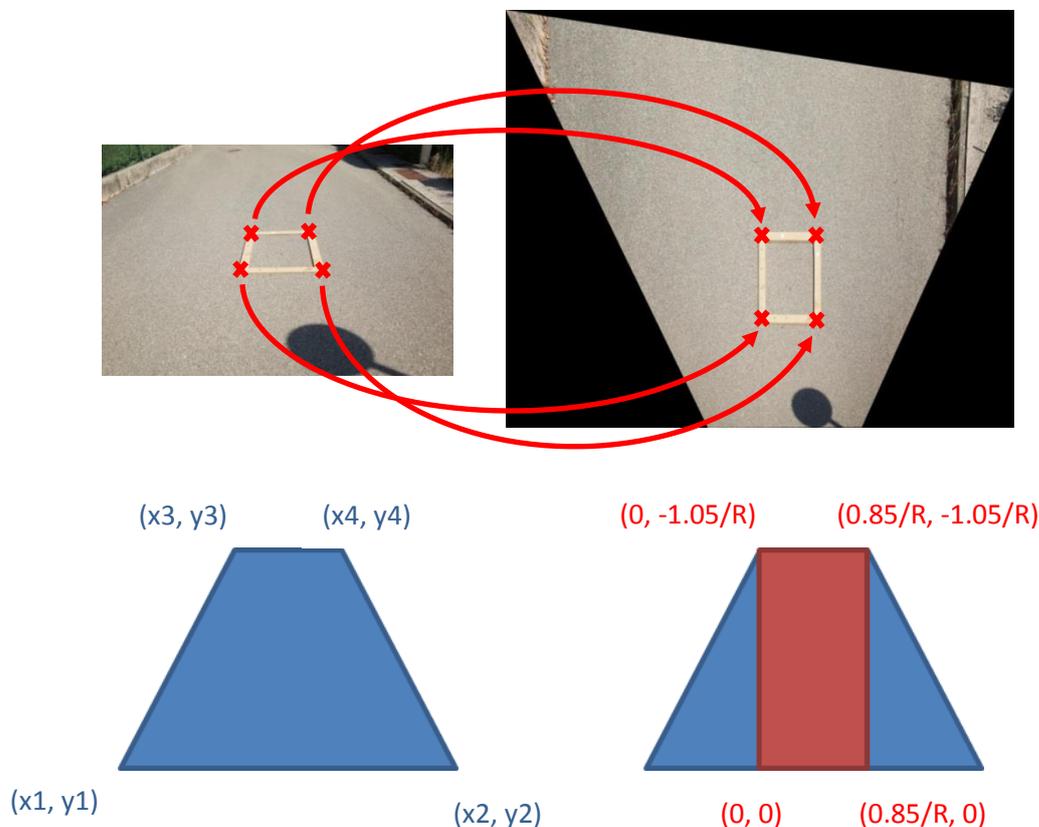


Figure 7- Transformation du cadre par homographie

Ce cadre est posé sur la route, permettant d'avoir des points d'appuis dans le plan de la route, puis est pris en photo au cours de l'acquisition, il est donc dans la même configuration que le reste du chantier. Cela nous permet d'utiliser une seule homographie pour tout le chantier.

- **Sans cadre :**

Dans un deuxième temps, nous avons essayé de calculer notre homographie sans cadre. Pour cela, nous avons pris quatre photos disposées en croix autour de la première photo de l'acquisition. Ces photos sont mises en place dans le but de faire des pointés 3D, par intersection de faisceaux. Quatre points sont choisis dans l'image de départ. Il faut qu'ils soient dans le plan de la route, non alignés et bien identifiables. Lors du pointé 3D, ces quatre points possèdent une composante verticale qui ne correspond pas à la normale de la route, car le repère choisi est arbitraire. Il nous faut donc les basculer dans le plan de la route. Après basculement, nous obtenons les coordonnées terrain, dans le plan de la route, de ces quatre points que nous connaissons aussi dans le repère image de la première photo d'acquisition. Nous pouvons ainsi en déduire notre homographie.

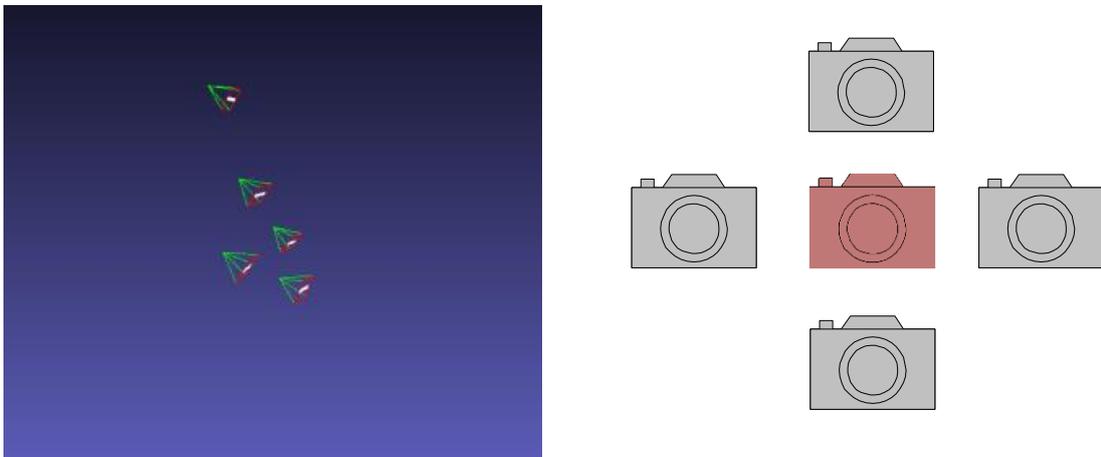


Figure 8- Dispositif de calcul de l'homographie sans cadre

### *b) Application du protocole à un ensemble d'image*

Ayant déterminé l'homographie, nous devons maintenant nous en servir pour traiter les images et pouvoir ainsi les mettre en place. Ce traitement se décompose en de nombreuses étapes que nous détaillons ci-dessous.

Remarque : Pour les repères se reporter au schéma p10.

#### *Première étape : Rogner les images*

Dans certains cas l'application de l'homographie aux images conduit à des images très lourdes et à des dépassements mémoire du fait de la perspective de la prise de vue. On décide donc de rogner un pourcentage de la partie supérieure des images avant d'appliquer l'homographie. On élimine la partie supérieure car c'est là que les déformations induites par l'homographie sont les plus fortes. On passe alors implicitement du repère  $r_0$  au repère  $r$



Figure 9- Mise en évidence du flou dans les images redressée

### Seconde étape : Appliquer l'homographie aux images

On détermine l'homographie à appliquer aux images par l'une des méthodes détaillée précédemment (voir 2.a). On applique ensuite l'homographie à l'ensemble des images. L'application de cette transformation produit des images de taille plus importante. On passe implicitement du repère  $\mathbf{r}$  au repère  $\mathbf{R}$ .

### Troisième étape : Rechercher les points homologues

On lance la recherche de points de liaison qui correspond à la commande *TAPIOCA* du logiciel *micmac* sur les images transformées par homographie. On obtient l'ensemble des points de liaison dans le repère  $\mathbf{R}$ .

### Quatrième étape : Rapatrier les points de liaison

Dans un premier temps, on exprime les points de liaison dans le repère  $\mathbf{r}$  en leur appliquant une translation.

Dans un second temps on applique à ces points l'homographie inverse.

Dans un troisième temps on exprime les points de liaison dans le repère  $\mathbf{r}_0$  en leur appliquant une translation. On obtient ainsi les points de liaison pour les images initiales.

### Cinquième étape : Mettre en place les images initiales

On effectue la mise en place des images initiales à l'aide des points de liaison déterminés et rapatriés sur les images initiales grâce à notre protocole. La mise en place correspond à la commande *TAPAS* du logiciel *micmac*.

Dans certains cas, la mise en place de l'ensemble des images nécessite une initialisation. On commence donc par mettre en place une première fois les images et on ne garde que l'orientation des images correctement mises en place (ovale rouge sur l'image) comme initialisation de l'ensemble du chantier.

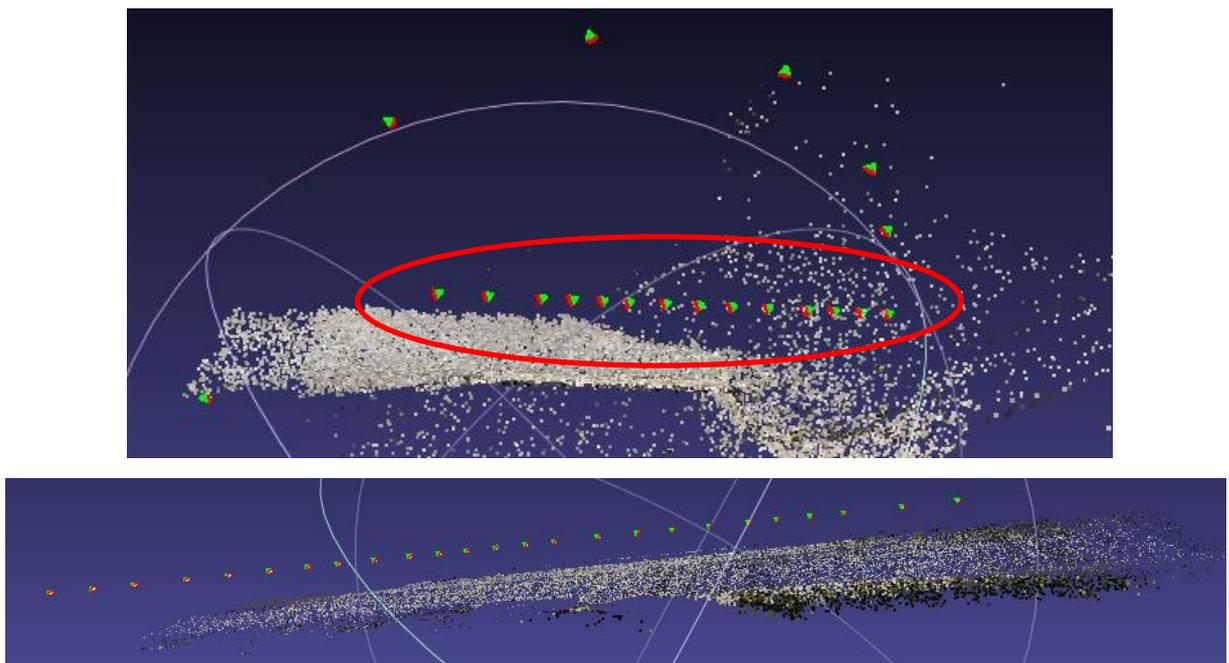
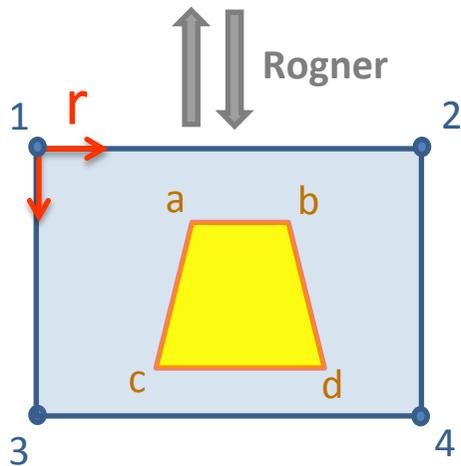
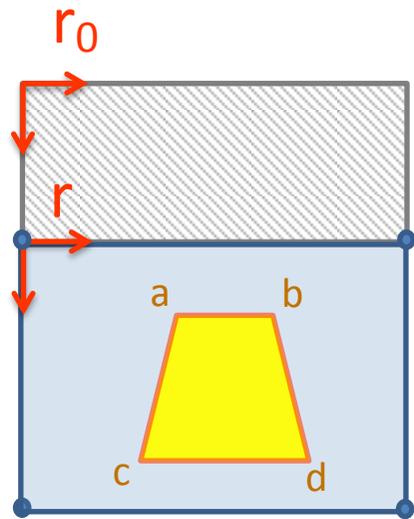
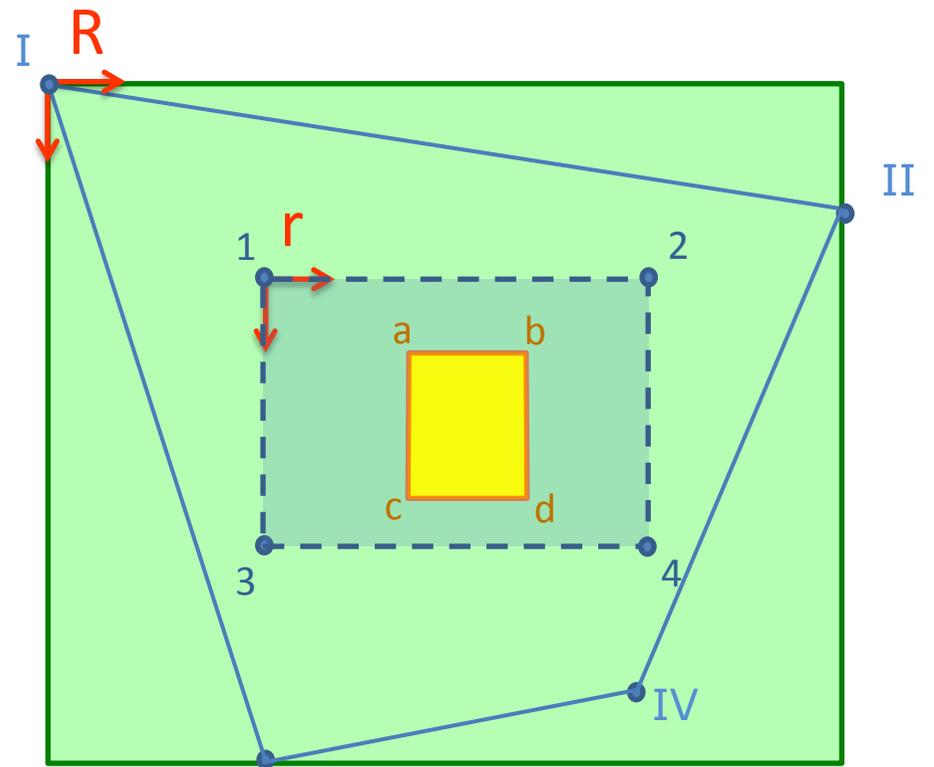


Figure 9et10- Mise en place d'un chantier en deux temps



Homographie2D  
+ fit



$r_0$  : Repère initial - celui des images brutes ;

$r$  : Repère des images rognées d'un pourcentage de la partie supérieure ;

$R$  : Repère des images ayant subi l'homographie.

$p_{r_0}$  ←

$p_r$  ←

←  $P_r$   $P_R$

### *c) Scripts développés*

Dans le cadre de notre projet nous avons été amenés à faire du développement informatique. Nous avons choisi d'utiliser le langage *octave*. Nous avons codé les différentes fonctions suivantes :

- homographie.m :** fonction qui calcule une homographie à partir des coordonnées de départ de quatre points et celles d'arrivée de ces quatre mêmes points.
- invHomol.m :** fonction qui applique l'inverse d'une homographie a un fichier .txt de points homologues.
- saveM.m :** fonction qui sauvegarde une matrice de nombre avec six chiffres significatifs (conservant la structure d'un fichier de points *micmac*).
- calcTrans.m :** fonction qui calcule la translation appliquée au référentiel lors de l'application d'une homographie.
- transla.m :** fonction qui applique une translation a un fichier .txt de points homologues.
- rognongnon.m :** fonction qui conserve un certain pourcentage de ligne de pixels en supprimant le haut de l'image.
- transTxt.m :** fonction qui applique une translation, une homographie et une seconde translation à un fichier .txt de points homologues.
- rogneAuto.m :** fonction qui rogne un ensemble d'images en conservant un certain pourcentage de ligne de pixels depuis le bas des images.
- homoAuto.m :** fonction qui applique une homographie a un ensemble d'images.
- transHomol.m :** fonction qui applique une translation, une homographie et une translation a un ensemble de fichier .txt de points homologues.

Pour une explication exhaustive, reportez-vous aux codes commentés dans le détail en annexe.

Pour appliquer l'homographie à une image nous nous sommes servi du code libre de David Liebovitz (Oxford RRG, [dl@robots.ox.ac.uk](mailto:dl@robots.ox.ac.uk)). La fonction se nomme **vgg\_warp\_H.m** et retourne le résultat interpolé de l'image ayant subi l'homographie.

## II. Mise en œuvre et résultats

### 1. Premier chantier : Essais d'homographie au centre

Nous avons mis en place une route du centre, pour cela nous avons effectué cinq photos de cette route.



Figure 11- Dispositif d'acquisition

- Traitements effectués

Les photos ne possédant pas assez de recouvrement nous n'avons pas réussi à les mettre en place sans notre processus. Avec notre processus, les points de liaison ayant augmenté sur les images les plus éloignées (voir tableau en Annexe 3), nous avons réussi à mettre en place les images.

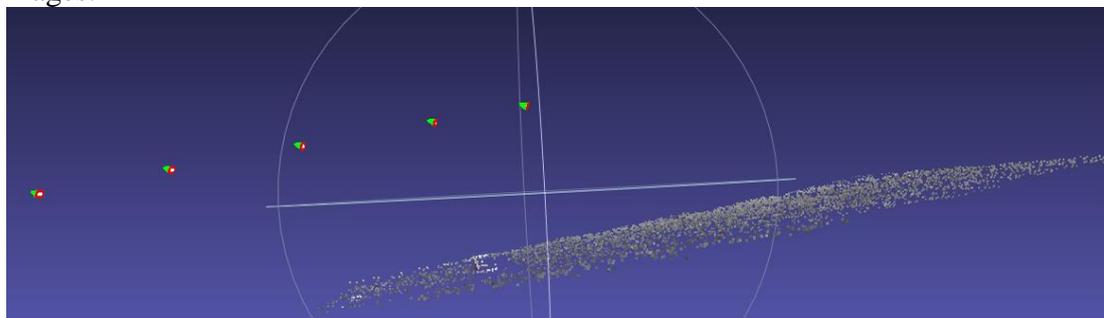


Figure 12- Mise en place du premier chantier

- Résultats

Le tableau ci-dessous présente le nombre de points de liaison calculés entre IMG\_3652\_pdv.JPG et le reste des images du chantier :

	Sans Procédure	Avec Procédure	Rapport AP/SP
IMG_3653_pdv.JPG	3999	3158	0,79
IMG_3654_pdv.JPG	102	960	9,41
IMG_3655_pdv.JPG	2	156	78
IMG_3656_pdv.JPG	2	34	17

En général, par rapport à une image donnée, nous remarquons que :

- Pour les images les plus proches, les points de liaisons diminuent (sûrement dû au flou intégré par l'interpolation linéaire).
- Pour les images à distance moyenne, les points de liaisons sont multipliés en moyenne par 8.
- Pour les images éloignées, alors que sans processus nous ne trouvons pas ou très peu de points de liaison sans processus, avec processus nous en trouvons entre 30-150 ce qui reste peu mais permet tout de même la mise en place des images.

## 2. Deuxième chantier : Différents angles

Nous avons travaillé sur une portion de voirie située dans le lotissement des Hauts la Louette. Grâce à notre support surélevé nous avons effectué une prise de vue avec deux angles différents.

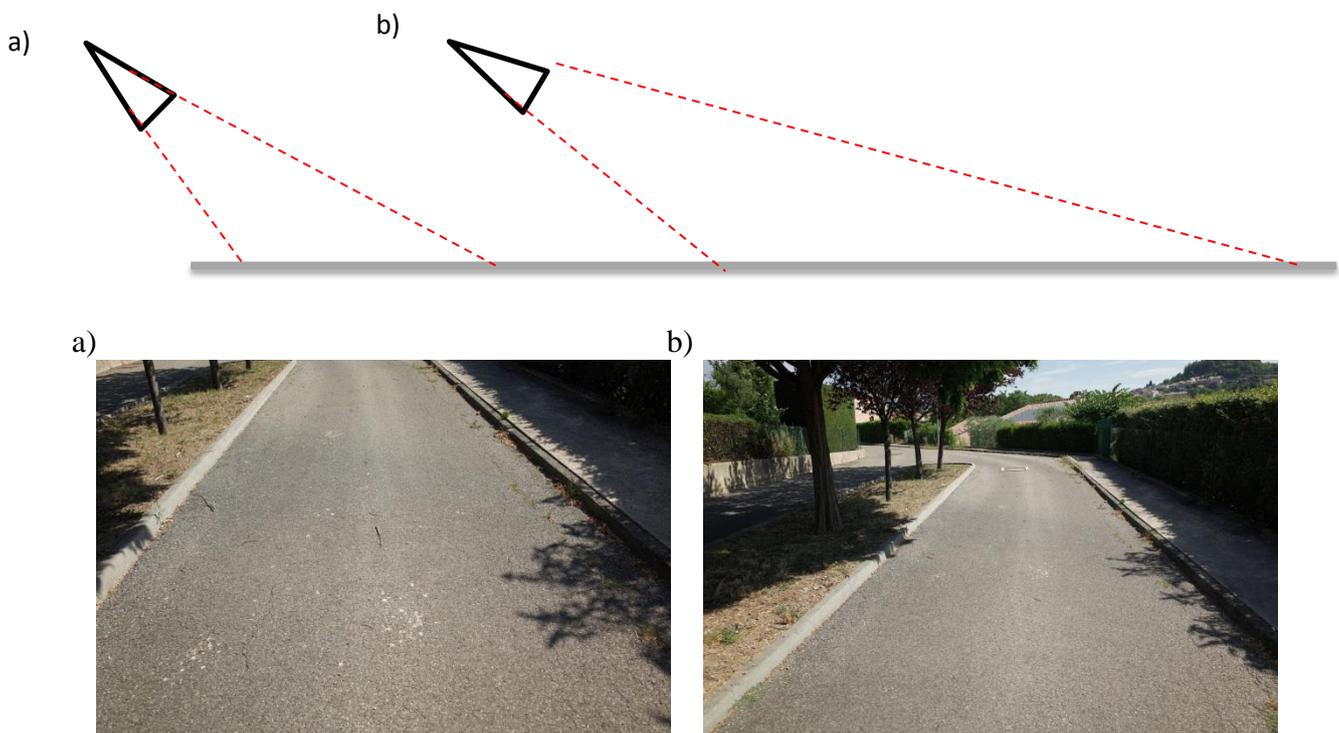


Figure 13- prise de vue sous deux angles (peu rasant (a) et très rasant (b))

### *a) Angles induisant une prise de vue inclinée vers le sol*

Pour cet angle, les photos arrivaient à se mettre en place sans notre protocole, nous l'avons tout de même appliqué aux images pour voir s'il permettait une certaine amélioration.

Comparons le résidu final moyen de mise en place :

Sans Protocole	Avec Protocole
1,4 px	0,5 px

### *b) Angles induisant une prise de vue rasante*

Sans protocole nous n'avons pu mettre en place les images. Après utilisation de notre protocole, cette mise en place a pu être effectuée avec un résidu de 0,57 px.

Conclusion : Notre processus améliore donc la mise en place des photos sur route goudronnée.

### 3. Troisième chantier : Rond-point

Nous avons effectué ce chantier dans le lotissement les Hauts de la Louette (Forcalquier).

#### a) Contrôle de la mise en place

Nous voulions estimer la qualité de la mise en place obtenue avec notre protocole. Nous avons choisi de travailler sur un chantier circulaire, permettant ainsi de s'abstenir de points topographiques : les points de contrôle au départ et à l'arrivée étant identiques, ils peuvent être mesurés dans un système arbitraire (celui de la mise en place des images). Ces points (pris sur le cadre) seront mesurés dans les images de départ d'une part, et dans les images d'arrivée d'autre part. A partir de la mise en place des images, ces points pourront être calculées en 3D par intersection de faisceaux : on disposera donc des coordonnées 3D des points du cadre au départ et à l'arrivée, que l'on pourra comparer. L'idée est de déterminer la dérive engendrée entre les images du début de prise de vue et de celles d'arrivée.

- Traitement initial

Nous avons effectué une première mise en place sans homographie qui n'a pas aboutie.

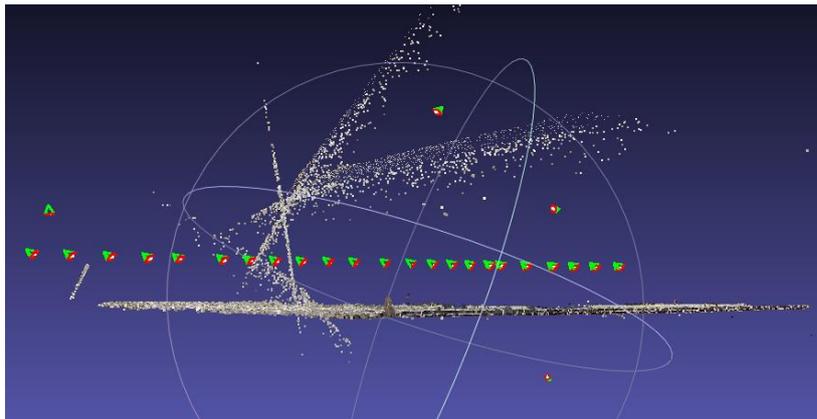


Figure 14- Mise en place sans homographie

Nous avons relancé les calculs mais cette fois avec homographie et nous avons réussi à mettre en place le chantier avec une initialisation de seulement 9 photos !

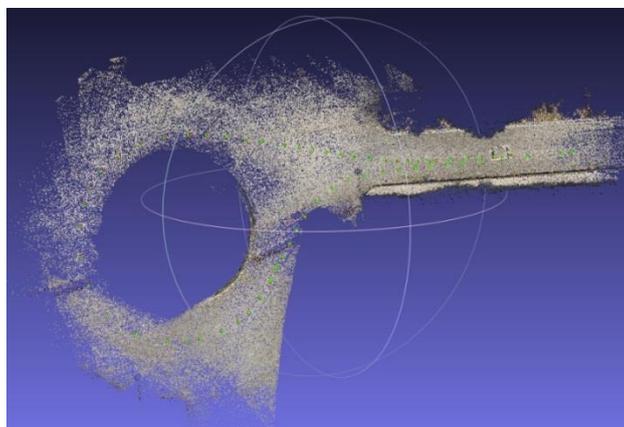


Figure 15- Mise en place avec homographie

- Estimation de la qualité du protocole

Après mise en place, on remarque une cohérence planimétrique mais un écart en altitude. Afin d'estimer cet écart, nous avons déterminé les coordonnées 3D des quatre coins du cadre d'une part sur les photos de départ et d'autre part sur les photos d'arrivée. Connaissant les mesures terrain du cadre, nous avons pu calculer cet écart qui est de 60cm (cf. tableau en Annexe 4).

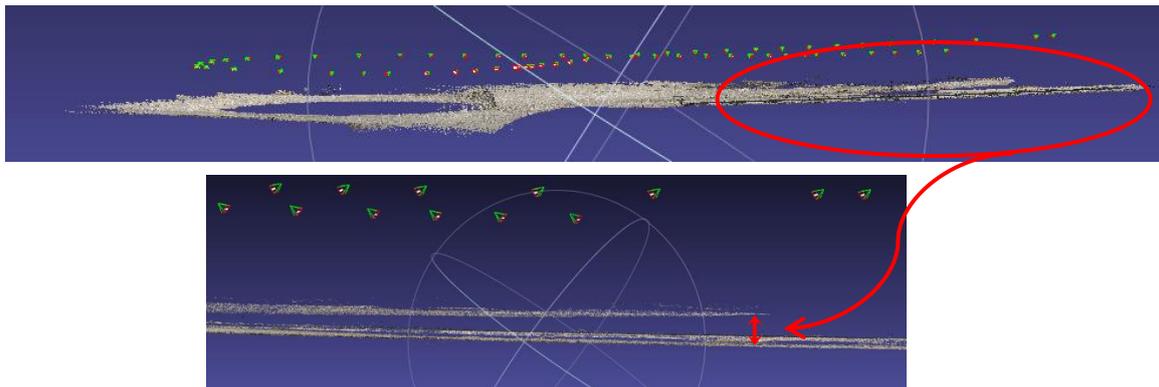


Figure 16- Mise en évidence de la dérive

### *b) Mise en place d'images de points de vue opposés*

Nous avons voulu tester la recherche de points de liaison sur des clichés de points de vue opposés. Pour cela, nous avons récupéré sur le chantier précédent les photos de départ et celles d'arrivées. Nous avons donc une configuration de prise de vue où deux groupes de clichés sont inversés l'un par rapport à l'autre.

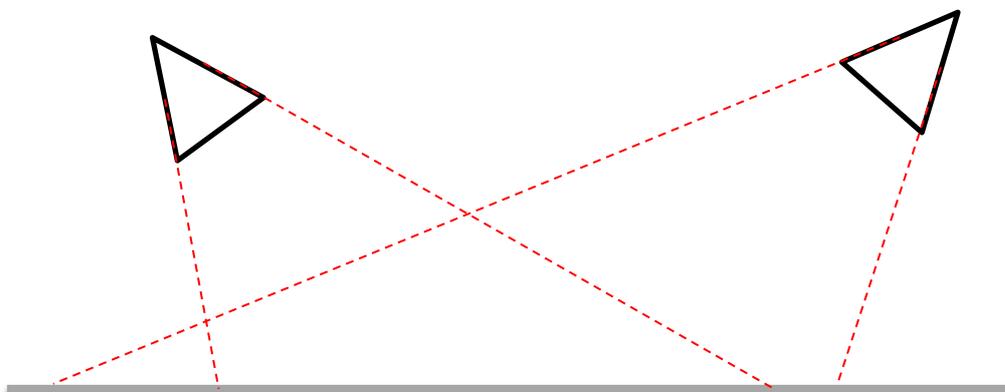


Figure 17- Photo en prise de vue

Nous avons donc cherché des points de liaisons sur les clichés de départs et d'arrivée d'abord sans homographie puis à l'aide de notre homographie. Comparons la recherche de points de liaison et la mise en place de ces clichés:



Figure 18- Mise en évidence des points de liaison sans protocole

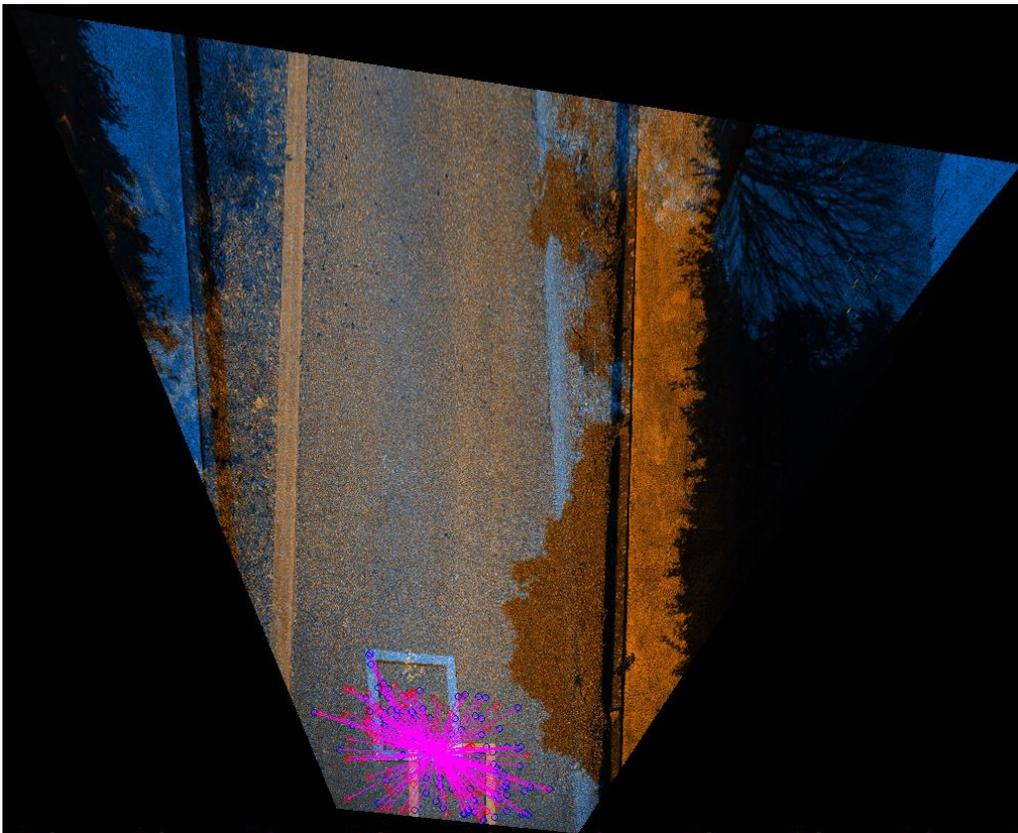


Figure 19- Mise en évidence des points de liaison avec protocole

Figure 20- Mise en en place sans protocole

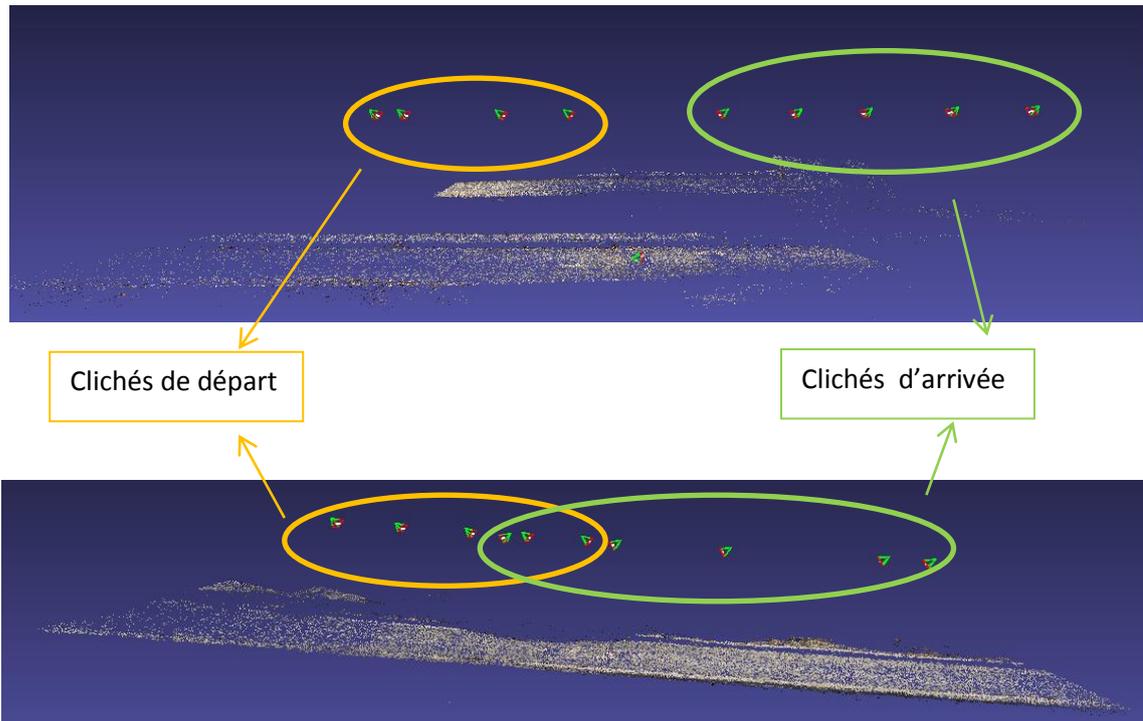


Figure 21- Mise en place avec protocole

Conclusion : On remarque que le nombre de points de liaison a considérablement augmenté et que la mise en place n'est possible qu'en utilisant notre protocole.

### c) Mise en place globale

Grâce au résultat précédent, nous avons pu remettre en place le chantier global. Pour cela, nous avons insérer les points de liaisons ci-dessus dans le chantier global, qui permettent de contraindre la position des clichés de début et de fin. L'écart de 60cm en altitude devient alors nul. Cela ne signifie pas que le chantier ne diverge pas par rapport à la réalité en d'autres endroits, mais que nous avons limité le phénomène de dérive.

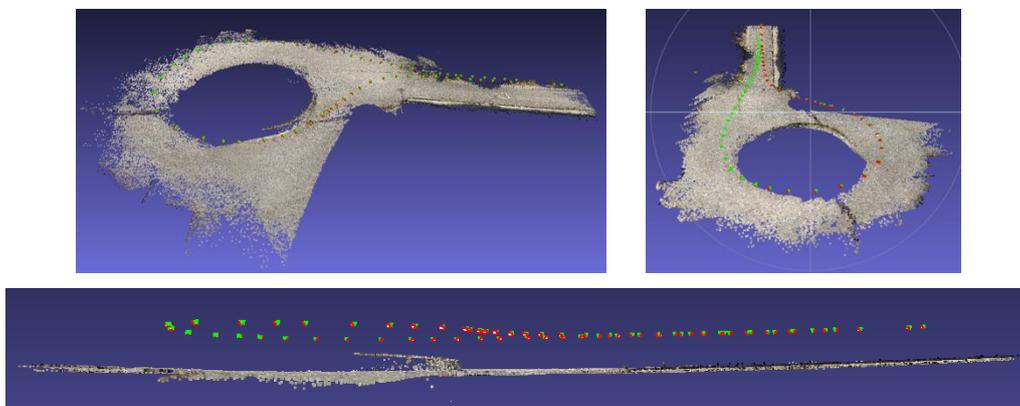


Figure 22- Mise en place du rond-point avec protocole et apport de points de liaison entre le début et la fin de chantier

### III. Limites de notre protocole

#### 1. Chantier important

Le chantier forme une boucle et comprend de nombreuses photos (environ 180).

Nous avons tenté de mettre en place les photos sans notre processus. La présence d'une partie située à l'ombre entraîne un manque de points de liaison et empêche la mise en place.

Nous avons ensuite appliqué notre protocole à la prise de vue. Mais à cause d'un recouvrement insuffisant à certains endroits et donc un nombre de points de liaison très faible, nous n'avons pu mettre en place que la moitié du chantier.

Notre chantier étant une boucle, nous décidons de changer de point de départ. Nous calculons donc des points de liaison entre les premières images et les dernières. Nous arrivons à mettre en place plus d'image mais une fois arrivé aux images comprenant de l'ombre, le problème du nombre de points de liaison se pose à nouveau.

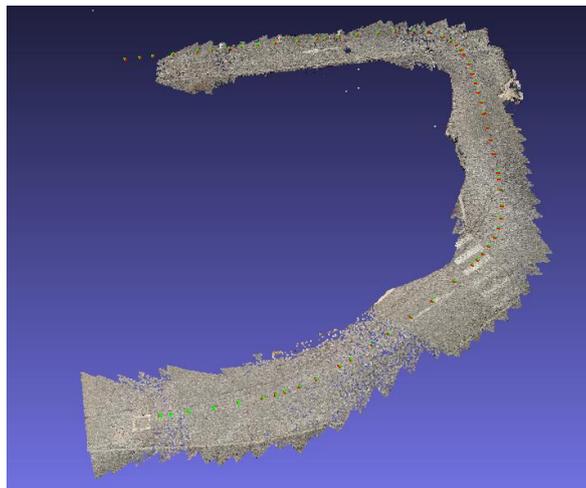


Figure 23- Mise en place d'un chantier important

Conclusion : Le protocole ne fonctionne pas en raison d'un manque de recouvrement (problème de vitesse du véhicule) et de zones ombragées qui rendent difficile la détection de points homologues.

## 2. Texture :

### a) Ruelle à Saint-Maime

Ce chantier a été effectué dans une ruelle pavée et étroite de Saint-Maime. Les clichés ont été pris avec le Canon 70D, posé sur trépied. Nous voulions un fort recouvrement afin de mettre en évidence les limites de *micmac* en effectuant la mise en place sur un nombre de photos de plus en plus petits. Ainsi, la base des clichés a donc été régulière et de l'ordre de quelques dizaines de centimètres. De plus, afin d'anticiper la prise de vue sur véhicule, nous avons surélevé la hauteur du trépied.



Figure 24- Prise de vue à Saint-Maime

On met en place l'ensemble des images sans notre protocole. On recommence en divisant le nombre d'image par deux. Au final, on ne garde qu'une image sur six et on remet en place le chantier sans notre protocole.

La recherche de points de liaisons et la mise en place ont été possible sans l'utilisation de notre homographie, et ce malgré un faible recouvrement. Après visualisation des points de liaisons, on constate que ceux-ci se situent essentiellement en fond d'image, sur les murs de cette ruelle ainsi que sur les pavés.

Conclusion : Notre protocole est inutile car la ruelle est trop étroite et trop texturée.

## b) Pierrerie

Le chantier s'est effectué sur une voirie très texturée, à savoir un chemin de terre.

On effectue les calculs avec et sans le protocole afin d'estimer l'importance de la texture sur nos chantiers. Il est à noter que le début de cette voirie est plus texturé que la fin. Nous avons donc par la suite comparé le nombre de points de liaisons dans les deux cas et ce en début et en fin de voirie



Figure 25- Prise de vue texturée



Figure 26- Prise de vue peu texturée

On remarque que le résidu final est plus important avec l'utilisation de notre homographie. Le résidu final étant de 0,71 avec notre protocole et de 0,40 sans l'utilisation de notre homographie.

Comparant le nombre de point de liaison (voir tableau en Annexe 5):

- Zone très texturée :

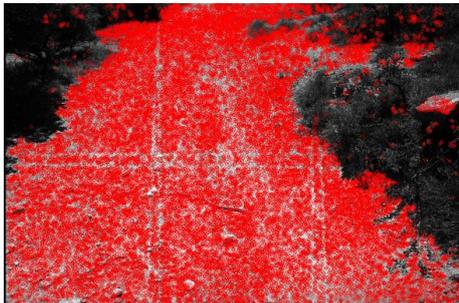


Figure 27- Prise de vue sans protocole

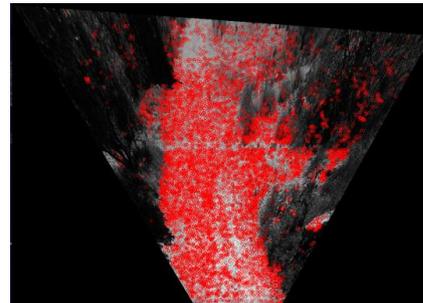


Figure 28- Prise de vue avec protocole

- Zone peu texturée :



Figure 25- Prise de vue texturée

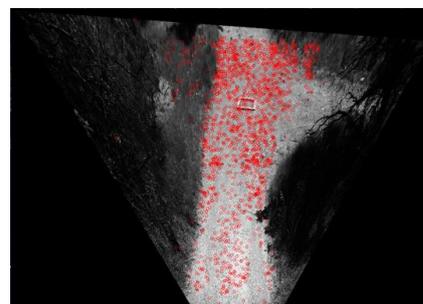


Figure 26- Prise de vue peu texturée

Conclusion : Sur une voirie fortement texturée, il semblerait que notre protocole détériore le calcul. Cela peut s'expliquer en partie par le fait que l'on rogne les images avant de leur appliquer l'homographie, on perd donc une partie des points de liaisons. De plus nous avons appliqué une transformation sur nos images qui les dégrade en partie.

## Conclusion

Le but du projet était d'améliorer la mise en place de photos de voirie à forte perspective. Pour faciliter la recherche de points homologues, nous avons corrigé les images à l'aide d'une homographie. Nous obtenons ainsi des images comme si la prise de vue était perpendiculaire à la route. C'est sur ces images que s'effectue la recherche de points homologues que nous rapatrions ensuite sur les images initiales afin de les mettre en place.

Nous avons pour cela développé un protocole qui permet de mettre en place un ensemble d'image puis l'avons testé sur différents chantiers.

Après avoir appliqué le protocole sur un certain nombre de chantiers, nous observons que par rapport à un traitement sans protocole :

- Pour une image donnée, le nombre de points de liaison calculés augmentent en général.
- Certaines mises en place de chantier ne sont possibles qu'avec protocole.
- Sur un chantier fermé nous obtenons une cohérence planimétrique.
- Nous pouvons mettre en place deux images de prise de vue opposée.

Toutefois, dans certaines conditions, le protocole connaît des limites. Il ne fonctionne pas si les images manquent de recouvrement (problème de vitesse du véhicule) et dans des zones trop ombragées (qui rendent difficile la détection de points homologues). Sur une voirie fortement texturée, il semblerait que notre protocole détériore le calcul. Cela peut s'expliquer en partie par le fait que l'on rogne les images avant de leur appliquer l'homographie, on perd donc une partie des points de liaison. De plus nous avons appliqué une transformation sur nos images qui les dégrade en partie.

En revenant à notre sujet de modélisation de voirie, nous pouvons conclure que notre processus améliore bien la mise en place des photos sur chantier large, peu texturé quel que soit l'angle de prise de vue.

## Annexe 1 – Calcul de l'homographie

---

$$(x, y) = \left( \frac{h_{1,1} \cdot x + h_{1,2} \cdot y + h_{1,3}}{h_{3,1} \cdot x + h_{3,2} \cdot y + h_{3,3}}, \frac{h_{2,1} \cdot x + h_{2,2} \cdot y + h_{2,3}}{h_{3,1} \cdot x + h_{3,2} \cdot y + h_{3,3}} \right)$$

$$M_i \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix} \xrightarrow{H} M'_i \begin{pmatrix} x'_i \\ y'_i \end{pmatrix} \quad i \in [1..4]$$

*On suppose qu'il n'y a pas trois points alignés parmi les  $M_i$  et  $M'_i$*

$$\exists! (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) \mid \begin{pmatrix} x_4 \\ y_4 \\ 1 \end{pmatrix} = \sum_{i=1}^3 \lambda_i \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{pmatrix}$$

*Les  $\lambda_i$  sont les coordonnées de  $M_4$  dans le repère affine  $(M_1, M_2, M_3)$*

$$A = \begin{pmatrix} \lambda_1 x_1 & \lambda_2 x_2 & \lambda_3 x_3 \\ \lambda_1 y_1 & \lambda_2 y_2 & \lambda_3 y_3 \\ \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 \end{pmatrix}$$

*On construit de même  $A'$  à partir des points  $M'_i$*

*La matrice de l'homographie est  $H = A' \cdot A^{-1}$*

## Annexe 2 - Processus

### Etape 1 : Renommer les images

Séparer les images de calibration des images utilisées.

```
mm3d MyRename "(FG.*).JPG" "\$1_calib.JPG"
mm3d MyRename "(FG.*).JPG" "\$1_calib.JPG" Exe=1
mm3d MyRename "(FG.*).JPG" "\$1_u.JPG"
mm3d MyRename "(FG.*).JPG" "\$1_u.JPG" Exe=1
```

### Etape 2 : Rogner les images

Dans cet exemple on rogne l'ensemble des images situées dans le répertoire rep dans la partie supérieur d'un pourcentage per et on renomme les images en leur ajoutant l'extension \_rdper.

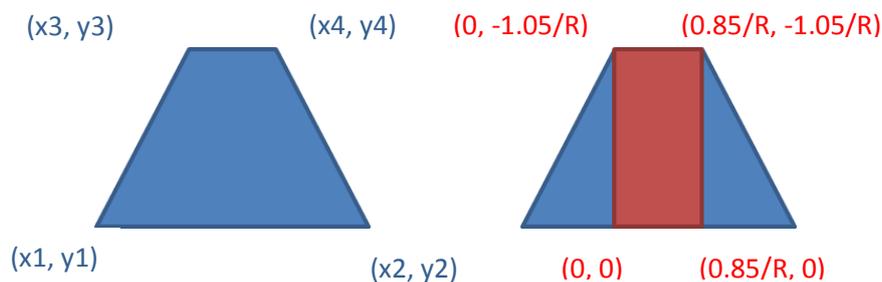
```
rep = "/home/prof/chantier/img";
rogneAuto(rep,per);
```

### Etape 3 : Déterminer l'homographie

```
img = imread('R001_r70.JPG');
imagesc(img);
```

On récupère les coordonnées de 4 points dans l'image de départ que l'on rentre dans PtO.

On fixe la résolution de l'image d'arrivée au niveau du bas du cadre. Le coefficient f nous permet de la moduler.



Connaissant les coordonnées terrain du cadre grâce à ses dimensions, on donne les coordonnées de ses quatre coins dans un système arbitraire lié au cadre.

```
PtO = [[x1 ; y1],[x2 ; y2],[x3 ; y3],[x4 ; y4]];
R = 0.85/f*(x2-x1)
PtD = [[0 ; 0],[0.85/R ; 0],[0 ; -1.05/R],[0.85/R ; -1.05/R]];
[H]=homographie(PtO,PtD);
```

#### *Etape 4 : Appliquer l'homographie aux images*

Dans cet exemple on applique l'homographie à l'ensemble des images présentes dans le répertoire rep avec la propriété 'fit' qui permet d'adapter le cadre de l'image de sortie au résultat de l'homographie. Les images obtenus sont dans le même répertoire et ont l'extension \_h2d.

```
rep="/home/prof/Bureau/chantier_lot";
homoAuto(rep,"_h2d",H);
```

#### *Etape 5 : Recherche des points de liaison sur les images rognées et ayant subi l'homographie*

```
"mm3d" "Tapioca" "Line" ".*_h2d.JPG" "2500" "4" "ExpTxt=1"
```

#### *Etape 6 :*

- *Traduire les points de liaison pour revenir au repère (r)*

Ici on commence par récupérer la taille des images initiales (\_u) afin de déterminer la translation entre R et r (sur les images ayant subi l'homographie).

- *Appliquer l'homographie inverse sur ces points de liaison*
- *Traduire les points rapatriés pour les adapter aux images non rognées*

Le pourcentage 'per' permet de replacer les points de liaison rapatriés sur les images initiales. En effet l'homographie a été effectuée à partir des images rognées.

```
img =imread('R0025177_u.JPG')           lecture d'une image initiale
[m,n]=size(img);                        détermination de sa taille
[dX,dY]=calcTrans(n,m,H);               détermination de la translation
rep2='/home/prof/Bureau/angle1/Homol';  répertoire où se trouvent les points homologues
transHomol(rep2,"_u",dX,dY,H,m,per);    on rapatrie les points sur les images initiales et on donne
                                         aux nouveaux fichiers de points de liaison l'extension _u.
```

### *Etape 8 : Effectuer la calibration*

```
"mm3d" "Tapioca" "MulScale" ".*_calib.JPG" "500" "2500"
```

```
"mm3d" "Tapas" "RadialStd" ".*_calib.JPG" "Out=Calib"
```

### *Etape 9 : Effectuer la mise en place des images initiales à l'aide des points rapatriés*

Mise en place de toutes les images

```
"mm3d" "Tapas" "Figee" ".*_u.JPG" "InCal=Calib" "Out=MEP" "ExpTxt=1"
```

Visualisation du résultat

```
"mm3d" "AperiCloud" ".*_u.JPG" "MEP" "ExpTxt=1"
```

On ne garde dans le dossier Ori-MEP que les fichiers des éléments cohérents puis on relance la mise en place en prenant cette orientation comme initialisation.

```
"mm3d" "Tapas" "Figee" ".*_u.JPG" "InCal=Calib" "InOri=MEP" "Out=MEP" "ExpTxt=1"
```

Visualisation du résultat

```
"mm3d" "AperiCloud" ".*_u.JPG" "MEP" "ExpTxt=1"
```

## Annexe 3 - Tableau de comparaison

Comparaison des points homologues avec et sans application du protocole.

### Chantier 1 Essai 3 : route du centre

#### IMG\_3652\_pdv.JPG

	Sans Procédure :	Avec Procédure :	AP/SP
IMG_3653_pdv.JPG	3999	3158	0,7896974244
IMG_3654_pdv.JPG	102	960	9,4117647059
IMG_3655_pdv.JPG	2	156	78
IMG_3656_pdv.JPG	2	34	17

#### IMG\_3653\_pdv.JPG

	Sans Procédure :	Avec Procédure :	AP/SP
IMG_3652_pdv.JPG	4056	3177	0,7832840237
IMG_3654_pdv.JPG	3037	2669	0,8788277906
IMG_3655_pdv.JPG	94	647	6,8829787234
IMG_3656_pdv.JPG	1	168	168

#### IMG\_3654\_pdv.JPG

	Sans Procédure :	Avec Procédure :	AP/SP
IMG_3652_pdv.JPG	110	982	8,9272727273
IMG_3653_pdv.JPG	3069	2606	0,8491365266
IMG_3655_pdv.JPG	4307	3964	0,9203622011
IMG_3656_pdv.JPG	137	1091	7,9635036496

#### IMG\_3655\_pdv.JPG

	Sans Procédure :	Avec Procédure :	AP/SP
IMG_3652_pdv.JPG	3	138	46
IMG_3653_pdv.JPG	107	613	5,7289719626
IMG_3654_pdv.JPG	4468	3929	0,8793643688
IMG_3656_pdv.JPG	4333	3938	0,9088391415

#### IMG\_3656\_pdv.JPG

	Sans Procédure :	Avec Procédure :	AP/SP
IMG_3652_pdv.JPG	1	30	30
IMG_3653_pdv.JPG	2	154	77
IMG_3654_pdv.JPG	136	1088	8
IMG_3655_pdv.JPG	4424	3950	0,8928571429

## Annexe 4 - Tableau de calcul de la dérive

Points	Aller			Retour		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-1,001	-0,827	-4,986	-0,918	-0,751	-3,858
2	0,552	-0,735	-5,116	0,645	-0,675	-3,983
3	-0,827	-1,905	-3,385	-0,742	-1,847	-2,271
4	0,725	-1,812	-3,517	0,822	-1,772	-2,392

Distances (m)	Aller	Retour	Etalons (m)
$d_{12}$	1,561	1,570	0,85
$d_{24}$	1,936	1,941	1,05
$d_{43}$	1,560	1,570	0,85
$d_{31}$	1,937	1,936	1,05

Coefficient de mise à l'échelle :

Aller	Retour
0,545	0,545
0,542	0,542
0,545	0,545
0,542	0,542

Coef de mise à l'échelle en moyen :

**0,543**

Ecart entre les points aller-retour :

1	1,134
2	1,139
3	1,119
4	1,130

Ecart en distance réelle :

1	0,616
2	0,619
3	0,608
4	0,614

## Annexe 5 - Tableau de comparaison

Comparaison du nombre de points homologues avec et sans application du protocole sur le chantier de Pierrerue

### Chantier route Pierrerue :

#### R0025366\_u.JPG

*debut très texturé*

	Sans Procédure :	Avec Procédure :	AP/SP
R0025367_u.JPG	30146	8498	0,2818947787
R0025368_u.JPG	1824	1397	0,7658991228
R0025369_u.JPG	1546	1463	0,946313066
R0025370_u.JPG	740	653	0,8824324324
R0025371_u.JPG	163	122	0,7484662577

#### R0025367\_u.JPG

*debut très texturé*

	Sans Procédure :	Avec Procédure :	AP/SP
R0025366_u.JPG	30152	8543	0,2833311223
R0025368_u.JPG	4186	3291	0,7861920688
R0025369_u.JPG	2952	3251	1,1012872629
R0025370_u.JPG	1257	1368	1,0883054893
R0025371_u.JPG	287	272	0,9477351916
R0025372_u.JPG	160	202	1,2625

#### R0025368\_u.JPG

*debut très texturé*

	Sans Procédure :	Avec Procédure :	AP/SP
R0025366_u.JPG	1747	1389	0,7950772753
R0025367_u.JPG	4086	3211	0,7858541361
R0025369_u.JPG	28130	9893	0,3516885887
R0025370_u.JPG	5644	5452	0,9659815734
R0025371_u.JPG	925	1156	1,2497297297
R0025372_u.JPG	405	643	1,587654321
R0025373_u.JPG	90	86	0,9555555556

#### R0025381\_u.JPG

*fin peu texturé*

	Sans Procédure :	Avec Procédure :	AP/SP
R0025376_u.JPG	4	15	3,75
R0025377_u.JPG	15	55	3,6666666667
R0025378_u.JPG	61	122	2
R0025379_u.JPG	416	501	1,2043269231

R0025380_u.JPG	1386	1525	1,1002886003
R0025382_u.JPG	1798	1696	0,9432703003
R0025383_u.JPG	286	246	0,8601398601
R0025384_u.JPG	55	70	1,2727272727
R0025385_u.JPG	22	38	1,7272727273

**R0025382\_u.JPG***fin peu texturé*

	Sans Procédure :	Avec Procédure :	AP/SP
R0025377_u.JPG	3	15	5
R0025378_u.JPG	14	37	2,6428571429
R0025379_u.JPG	67	136	2,0298507463
R0025380_u.JPG	245	296	1,2081632653
R0025381_u.JPG	1776	1756	0,9887387387
R0025383_u.JPG	1201	1704	1,418817652
R0025384_u.JPG	238	212	0,8907563025
R0025385_u.JPG	89	97	1,0898876404