

Stage terrain ING1

Rapport de projet

Réalisation d'illustrations pour la photogrammétrie

& commentaire de la pertinence des illustrations

Été 2019

*Groupe : Constance CHRISMANN, Clémence BELLON, Corentin
FRIEDRICH, Lucas MARTELET, Romain GALETTA.*

Commanditaire : Jean-François Hanguët

Introduction

L'objectif de ce projet est la réalisation d'illustrations à visée pédagogique sur la photogrammétrie. La commande porte sur la conception de quatorze illustrations. Pour chacune d'elles, nous avons réfléchi non seulement au type de rendu que nous allons produire mais également aux expériences sur le terrain les plus pertinentes pour saisir le phénomène étudié. Les expérimentations sur le terrain ont pour objectif de nous familiariser avec la thématique imposée, étant donné que la vulgarisation implique une bonne compréhension du phénomène que l'on cherche à expliquer. Nous avons choisi de varier les supports visuels selon les thèmes abordés en livrant à la fois des esquisses réalisées à la main, des photos, des graphiques, des animations et également un petit logiciel sur la distorsion.

Table de matières :

| | |
|--|----|
| Introduction..... | 2 |
| I-Quelques grands principes de la photogrammétrie | 4 |
| 1.1-Non unicité du relèvement : retrouver la position de l'appareil à partir d'une seule photo | 4 |
| 1.2-Retrouver l'orientation relative d'une image par rapport à l'autre | 4 |
| 1.3-Visualisation d'une similitude 3D pour géo-référencer une prise de vue | 7 |
| II-Qualité de la prise de vue en termes de détection de points homologues et de corrélation dense | 10 |
| 2.1 - Facteurs liés au paysage, à la scène photographiée | 10 |
| a) Géométrie de la scène..... | 10 |
| b) Distribution et longueur des ombres | 10 |
| c) Évolution des ombres au cours du temps | 12 |
| 2.2 - Facteurs liés à l'opérateur..... | 13 |
| a) Perturbation des réglages de l'appareil | 13 |
| a) Distribution des incidences | 15 |
| 2.3 - Facteurs liés à l'appareil : étude sur la production d'une ortho-photo | 16 |
| a) Influence de la résolution appareil..... | 16 |
| b) Influence du MNT, MNS et de la projection du nuage de points 3D | 18 |
| III-Illustrations relatives à la distorsion | 21 |
| 3.1-Influence d'un changement de matériel..... | 21 |
| a) Boîtier | 21 |
| b) Objectif à même focale | 22 |
| c) Fixation et refixation de l'objectif..... | 24 |
| 3.2-Influence séparée des paramètres de calibration de la caméra sur la reconstruction 3D | 25 |
| 3.3-Logiciel pour appréhender la distorsion | 27 |
| Annexes | 29 |

I-Quelques grands principes de la photogrammétrie

1.1-Non unicité du relèvement : retrouver la position de l'appareil à partir d'une seule photo

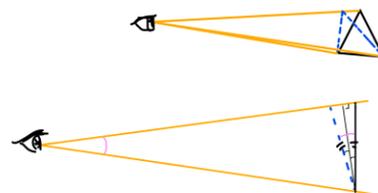
Il est possible de positionner le sommet de prise de vue d'une image dans un repère du monde par relèvement de trois points connus au minimum.

Nous avons réalisé une animation sur GeoGebra (logiciel gratuit de dessin géométrique) qui permet d'expliquer le principe du relèvement à trois points ; nous regrettons seulement que ce logiciel ne permette pas encore de dessiner des intersections de tores.

Mais trois points suffisent-ils vraiment?

On sent bien que si les trois points d'appui sont alignés, on pourra faire tourner un sommet de prise de vue trouvé autour de l'axe de l'alignement des points, sans que rien n'indique si la nouvelle position correspond plus ou moins bien à la véritable position de l'appareil lors de la prise de vue (à part la position d'un point de l'image situé en-dehors de cet axe).

D'autres configurations des points d'appuis mènent également à une non-unicité du relèvement : si ces points sont placés aux trois coins d'un triangle équilatéral, il y a quatre positions possibles au-dessus du plan du triangle, et quatre autres en dessous. Pour l'illustrer, nous avons pris en photo une triangle équilatéral depuis les quatre positions au-dessus qui permettent qu'il apparaisse équilatéral sur les photos, en faisant attention à ce que ce soit visuellement frappant que les coins sont placés exactement au même endroit sur les photos, et que donc à partir de la seule position de ces coins sur les images il est impossible de savoir depuis quelle position la photo a été prise. Des schémas expliquent également comment ceci est géométriquement possible.



1.2-Retrouver l'orientation relative d'une image par rapport à l'autre

L'une des étapes du processus photogrammétrique que nous tenions particulièrement à illustrer est l'orientation relative : lors du positionnement relatif, une quantité minimale de points de liaison est nécessaire sous peine d'avoir des mouvements relatifs encore possible entre les deux repères. Ce nombre minimal découle des formules utilisées pour passer d'un repère à l'autre dans l'orientation relative. Dans un couple d'images, chaque sommet de prise de vue (et donc image si on considère la calibration interne effectuée) possède 6 inconnues, 3 sur sa position et 3 sur son orientation, ainsi un total de 12 inconnues pour un couple de clichés. Sur ces 12 inconnues, 7 seront déterminées lors du

positionnement absolu et il en reste donc 5 à résoudre, donc un système à 5 inconnues. Dans le cas simple où le système est linéaire, 5 équations auraient suffi mais le système n'est ici pas linéaire et un minimum de 6 à 11 équations est nécessaire suivant la littérature. Ces équations sont obtenues grâce aux points de liaison qui vont chacun fournir une équation (intervention d'un déterminant dans la formule), ce qui conduit à la nécessité de 6 à 11 points de liaisons minimum. Mais il est très difficile de se représenter cette nécessité de 5 points de liaisons pour ne pas avoir une infinité de solution, et plus encore d'imaginer où peuvent se situer les différentes solutions avec les 5 points.

Nous avons alors essayé plusieurs pistes pour illustrer cette étape :

Nous avons commencé par rechercher des logiciels d'affichage 3D permettant de faire un modèle avec deux appareils photos, des points sur le fond de leur boîtier et les rayons lumineux associés à chacun de ces points et passant par le sommet de prise de vue ; ce modèle devait nous permettre de bouger les appareils l'un par rapport à l'autre sans que les rayons ne se dissocient de leur point image sur le capteur, ni ne se séparent du rayon correspondant de l'autre appareil. Dans l'idéal, le modèle devait même bloquer tout mouvement qui ne permettrait pas de garder les rayons associés en contact, et aider à retrouver les configurations solutions.

Au départ, nous avons pensé à Blender, un logiciel gratuit permettant de faire de l'animation 3D ; mais sa prise en main nous aurait demandé bien trop de temps par rapport à nos trois semaines : apprendre à dessiner des formes en reliefs et chercher un moyen de positionner divers éléments de façon un peu précise nous a déjà pris du temps.

Nous avons ensuite pensé à des logiciels de modélisation SI (Sciences de l'ingénieur), qui présentent l'intérêt de permettre la définition d'objets rigides articulés par des liaisons, et de modéliser les mouvements permis par l'assemblage ; cependant, les logiciels que nous avons trouvés étaient soit trop simples (modélisation des seules liaisons pivot), soit trop complexes pour nous qui ne cherchions pas à redessiner des pièces de façon précise (SolidWorks dans sa version d'essai en ligne). Surtout, il y a tant de degrés de liberté possibles entre deux rayons lumineux dont la seule contrainte est de se croiser, qu'il aurait fallu mettre en série plusieurs liaisons entre eux (par exemple, une liaison sphère-cylindre et une glissière) et le rendu graphique en aurait été alourdi.

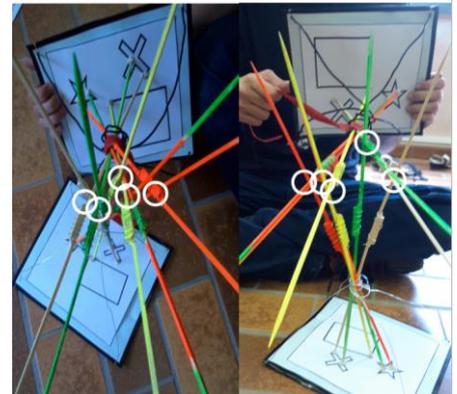
Nous avons également essayé GeoGebra, qui, avec son mode 3D, est finalement le (ou l'un des) logiciels existant répondant au mieux à nos besoins : les rayons lumineux ont en effet aussi peu de consistance que des demi-droites mathématiques, et ce logiciel permet de définir des contraintes entre les différents objets mathématiques, telles que des intersections. Nous n'avons hélas pas réussi à concrétiser son utilisation pour l'illustration de l'orientation relative, car la présence de différents objets éloignés les uns des autres (nos deux appareils photos) est assez mal gérée par l'affichage 3D, et que, sans doute par manque d'expérience, nous avons eu du mal à rigidifier tout à fait un ensemble {appareil + rayons} tout en permettant son mouvement en translation et en rotation - sans compter le fait qu'un simple retour arrière effaçait d'un coup de longues minutes de travail...

Face à ces difficultés dans le monde numérique, nous avons décidé de réaliser une maquette physique de nos appareils photo et de leurs rayons. Cette matérialisation s'est faite en bricolant deux fonds de chambre. Sur ceux-ci sont collées 2 images représentant la même emprise terrain avec

2 points de vue différents. Sur ces deux images, on va choisir 5 points de liaison sur lesquels on va placer des baguettes en bois représentant les rayons lumineux. Chaque point de liaison possède une couleur de baguette pour pouvoir les différencier. Enfin, le casse-tête commence et l'opérateur doit à deux reprises trouver une position où les couples de baguettes se croisent afin de montrer la non unicité de la solution d'orientation relative avec 5 points, autrement dit 5 directions.

Nous avons également utilisé cette maquette pour illustrer dans de petites vidéos les mouvements de liberté de l'orientation relative en fonction du nombre de points de liaison.

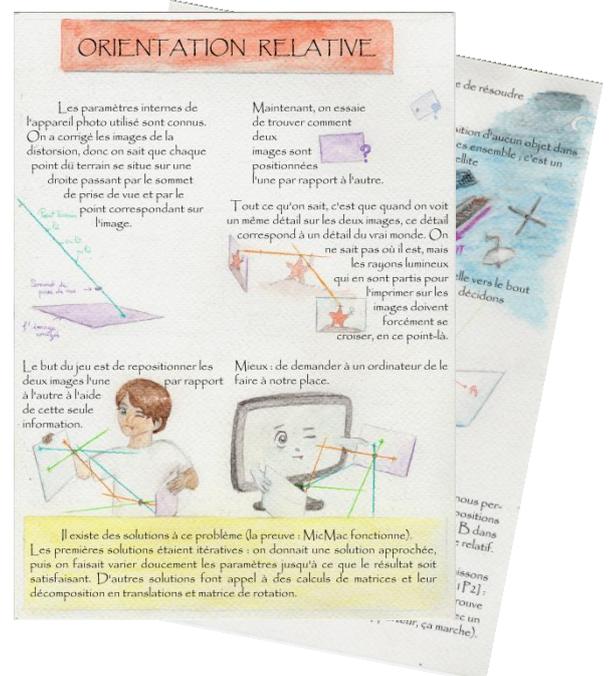
Résultats : On remarque sur les deux images ci-contre qu'il est possible d'avoir deux solutions pour 5 rayons. En effet sur les deux images, tous les rayons d'un même couple s'intersectent mais les deux images n'ont pas la même orientation relative.

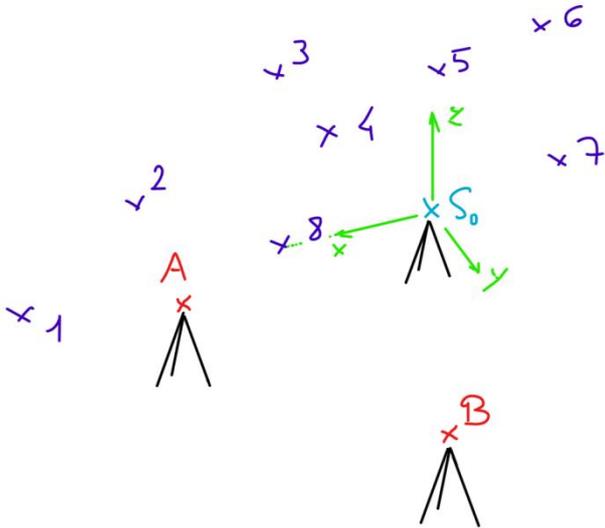


Conclusion :

5 points de liaisons ne sont effectivement pas suffisant pour l'orientation relative. Cependant il est nécessaire de préciser que tous les logiciels de traitement photogrammétriques possèdent des fonctions de détection automatique des points de liaison qui trouvent en générale beaucoup plus que 5 points de liaison, ce qui fait que sur presque tout couple d'images possédant une zone de recouvrement, une orientation relative va pouvoir être déterminée.

En parallèle, nous avons commencé avec les conseils de M. Hangouët un programme Python devant résoudre de façon presque graphique ce problème de l'orientation relative. C'est finalement le principe même de ce programme qui fournit une bonne illustration permettant de comprendre l'orientation relative - ou, du moins, de comprendre une manière de la trouver. Ce principe est expliqué avec des illustrations dans le document suivant : (voir la version grand format dans l'annexe).





Pour vérifier si le programme renvoie bien la vraie solution, nous avons établi avec de la topométrie un jeu de test :

La station libre S_0 , correspondant au point P1 (premier des points terrain servant de référence du repère local dans le programme) servait de référence de coordonnées $(0,0,0)$, et nous avons fait en sorte de définir son G_0 (ou V_0 sur Covadis) de manière à ce que le point 8, qui correspond au point P2 (2^e point terrain de référence) ait une composante nulle selon l'axe y , pour qu'il soit plus facile ensuite de basculer les coordonnées des points dans le système

relatif utilisé dans le programme.

Les tachéomètres placés en A et B (qui modélisent les sommets de prise de vue des deux images) permettaient d'obtenir les différences angulaires verticales et horizontales entre les différents points, et pour obtenir la différence angulaire totale nous avons utilisé un résultat de la trigonométrie sphérique dans les triangles rectangles sphériques.

Pour l'instant, le programme ne trouve pas la solution établie avec la topo. Le problème vient sans doute de la mauvaise maîtrise de la trigonométrie sphérique ; une personne ayant l'habitude de la manipuler devrait résoudre le problème en moins d'une demi-journée, car le code est finalement assez court et documenté.

Il faudrait ensuite, pour améliorer le programme, faire en sorte que seules les solutions en avant des caméras soient prises en compte (en demandant que nos coefficients k permettant de trouver la position de la pseudo-intersection le long d'une droite passant par un sommet de prise de vue et un point image soient positifs) - cela prendrait sans doute une petite demi-journée de réflexion efficace. Il faudrait aussi trouver une manière de gérer les diminutions relatives du pas de parcours de nos tores et des seuils de conservation des solutions, pour qu'on ne se retrouve pas avec des milliers de solutions en quelques itérations, ni qu'on n'en ait plus aucune rapidement. Une solution serait de ne conserver qu'une seule solution fine par solution approchée de l'étape précédente, mais s'il y a plusieurs solutions très proches les unes des autres, on n'en verra qu'une. Réfléchir à cela implique (je pense) de lire de la bibliographie à ce sujet : il y a forcément des gens qui se sont confrontés à ce problème et qui ont déjà consacré du temps à le résoudre.

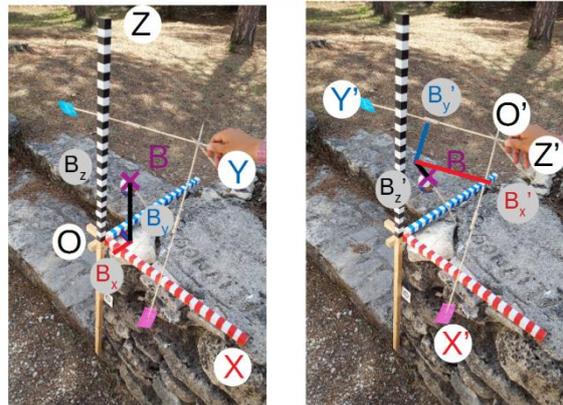
1.3-Visualisation d'une similitude 3D pour géo-référencer une prise de vue

Lors du processus photogrammétrique, l'opérateur a plusieurs fois affaire à des changements de repères. Une première fois lors de l'orientation relative pour passer du repère d'un premier cliché vers celui d'un autre choisi comme étant le repère de base. Une seconde fois lors de l'orientation absolue pendant laquelle on passe du repère relatif à un repère absolu.

Pour que ce changement de repère se fasse, il est nécessaire d'avoir les coordonnées d'un même point dans les deux repères (point de liaison en orientation relative et point d'appui en orientation absolue).

Protocole expérimental :

On place une petite balle dans l'espace, la mise en hauteur se fait en accrochant la balle à un pic en bois. On place ensuite deux repères de tailles différentes (représentation du facteur d'échelle), avec une orientation différente (représentation des trois rotations) et avec une origine avec une position différente (représentation des trois translations). Une fois cette mise en place effectuée, on prend une photo sur laquelle on voit les coordonnées du point choisi sur la balle dans les deux repères. On va ensuite modéliser sur l'image les coordonnées du point dans les deux repères.

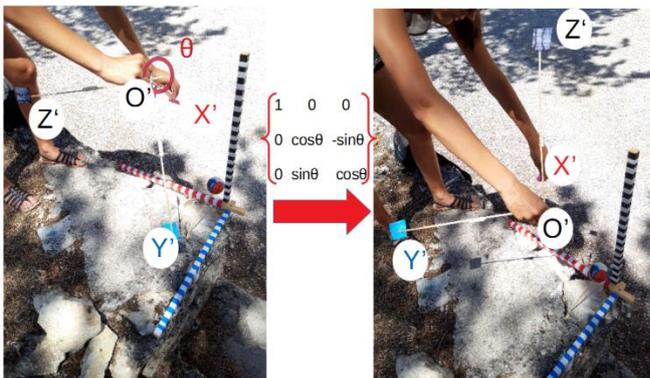


Une fois qu'on possède suffisamment de points, c'est à dire 6 (voir expérience sur l'orientation relative) dont les coordonnées dans les deux repères sont connues, il est possible de déterminer la matrice de changement de repère qui se résume en trois parties :

- Trois rotations
- Trois translations
- Un facteur d'échelle

Cette matrice permet alors de passer du repère A au repère B et c'est ce passage qui va être illustré en faisant bouger le repère B pour qu'il ait la même position, la même orientation et la même dimension que le repère A.

Protocole expérimental :



On reprend la même orientation relative des deux repères que dans l'expérience précédente et on prend une photo de cet état initial. Par la suite, il faudra faire une photo après chaque étape. On effectue une rotation selon l'axe OX' du repère qu'on va choisir comme mobile, puis selon l'axe OY' puis l'axe OZ' . Ces trois rotations doivent se faire de sorte qu'après celles-ci, les deux repères aient la même orientation. On fait ensuite les trois translations selon le même ordre d'axe pour faire coïncider les deux origines des repères.

Ces photos vont ensuite être utilisées pour faire une suite d'étapes pour passer du repère B au repère A avec à chaque fois les transformations mathématiques associées.

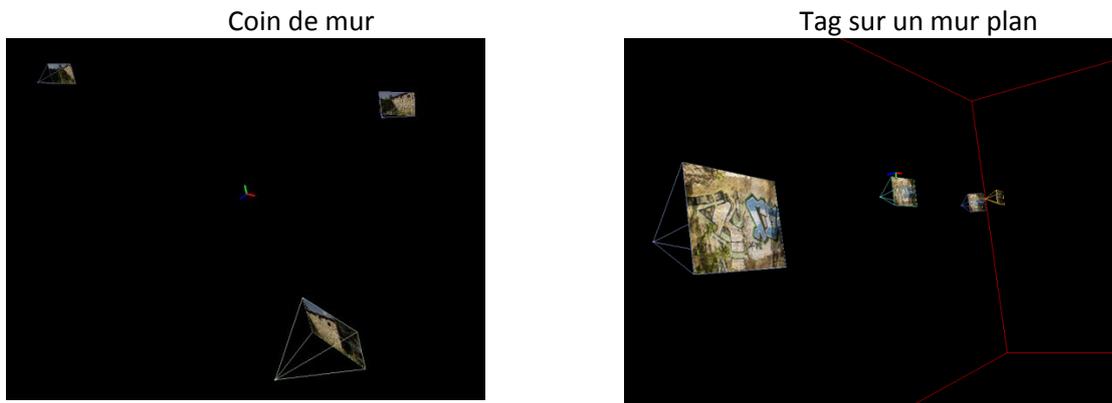
Cette matrice va par la suite permettre de déterminer la position du sommet de prise de vue B dans le repère A pour pouvoir poursuivre le processus photogrammétrique.

II-Qualité de la prise de vue en termes de détection de points homologues et de corrélation dense

2.1 - Facteurs liés au paysage, à la scène photographiée

a) Géométrie de la scène

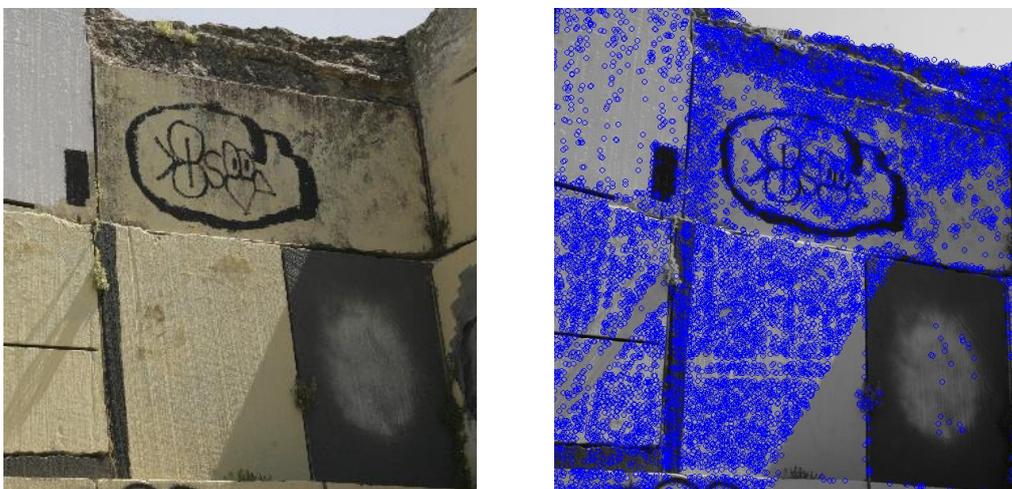
La géométrie de la scène impacte directement la bonne détermination (par le logiciel MicMac) des paramètres d'auto-calibration. Nous avons lancé une acquisition à la fois sur un coin de mur comportant du relief, et sur un mur plan puis nous avons effectué le calcul de la mise en place. Ci-dessous, nous présentons les images du relief prises lors de l'acquisition ainsi que les différentes positions de l'opérateur.



La détermination des sommets de prise de vue a échoué pour l'acquisition sur la surface plane alors que pour le coin de mur, MicMac est parvenu à déterminer le fichier d'auto calibration. On illustre ainsi la nécessité d'auto calibrer sur une surface non plane.

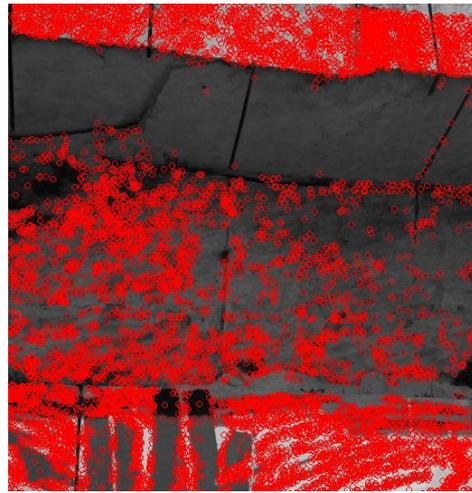
b) Distribution et longueur des ombres

Selon le degré d'exposition au faisceau lumineux, l'effet de l'ombre peut soit favoriser l'algorithme de détection des points, soit lui nuire. Des faisceaux arrivant de manière rasante sur la surface sont susceptibles de mettre en évidence les petits reliefs dus aux aspérités comme le montre l'image ci-dessous.



Ces rugosités apportent des zones de contraste assez fines, qui peuvent être exploitées pour trouver les points homologues. En revanche, l'ombre peut estomper une zone entière et provoquer un effet de lissé, peu favorable pour le repérage des points de liaison. Ces surfaces unies au niveau colorimétrique mettent en défaut l'algorithme SIFT, comme on peut le constater sur la zone en bas à droite de la photo.

Les zones ombragées peuvent néanmoins regorger de candidats potentiels pour les points de liaison si elles sont contrastées, comme illustré ci-après :



La modification de l'angle de vue ne semble pas avoir d'influence sur la recherche des points homologues. En étudiant les acquisitions prises en « frontal », « plongée », et « contre-plongée », on constate que les résultats précédents demeurent valables. Même si les ombres portées sont grandes, des nombreux motifs au sol, comme sur le mur ont permis de trouver des nombreux points.



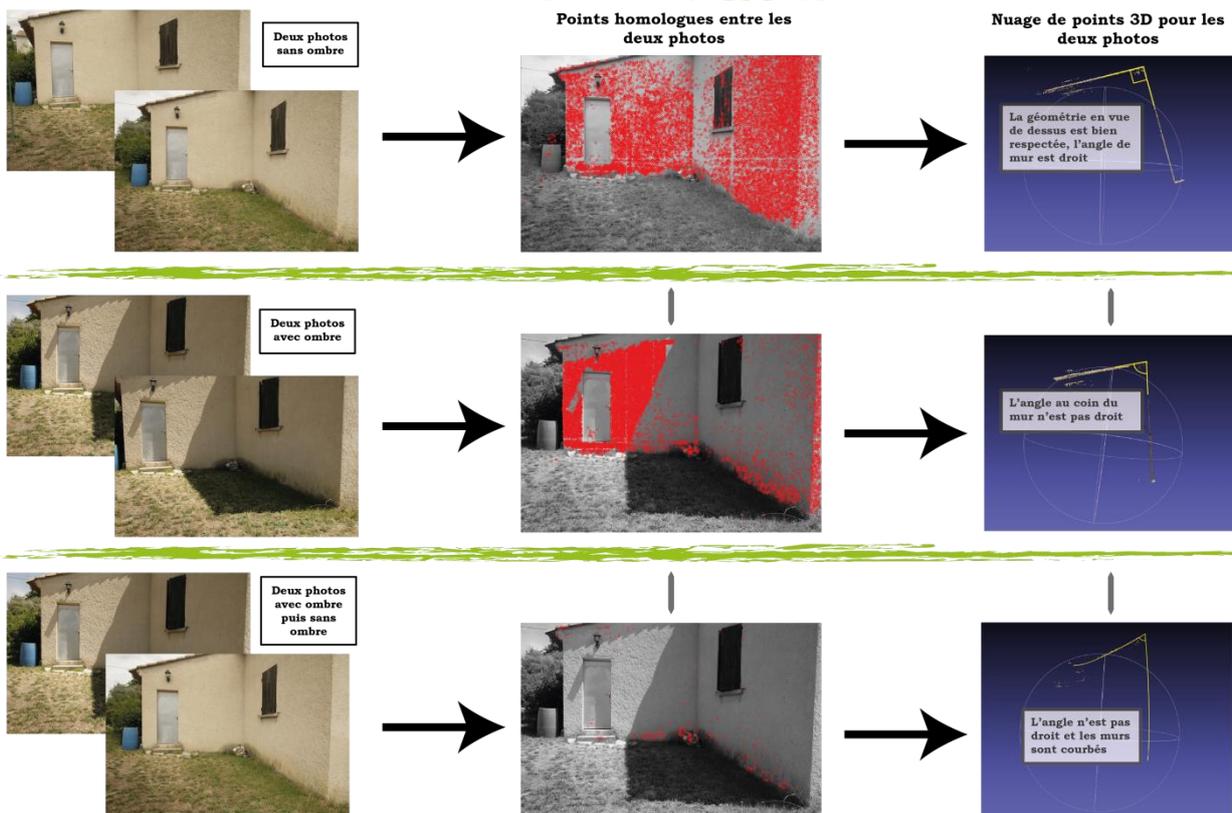
Il est à noter que les passages ombragés peuvent entraîner des erreurs au niveau géométrique. Sur l'exemple ci-après la détermination des sommets de prises de vues et des matrices rotation semble erronée.

Un coin de mur ombragé et peu texturé nécessite un traitement particulier. Nous suggérons une acquisition par un traitement HDR (High Dynamic Range) pour corriger la radiométrie d'une image trop sombre.

c) Évolution des ombres au cours du temps

On s'intéresse dans cette courte partie à des ombres qui pourraient changer entre deux photos. On réalise donc une acquisition sur pied dans un premier temps où il n'y a aucune ombre, puis une autre plus tard dans la journée exactement au même endroit quand les ombres sont très prononcées. On post-traite les deux séries ainsi qu'une troisième où l'on prend une photo avec ombre et une photo sans. On obtient le résultat ci-dessous :

Etude de l'impact des ombres sur une acquisition photogrammétrique



On constate parfaitement l'échec de la reconstitution dans la troisième série, et celle dans la deuxième n'est pas non plus idéale, ce qui confirme le fait d'éviter au maximum les ombres et si possible d'opérer par temps nuageux où la lumière sera plus diffuse.

2.2 - Facteurs liés à l'opérateur

a) Perturbation des réglages de l'appareil

i) Zoom

Protocole expérimental

Nous étudions ci-après l'influence de la modification du zoom (focale de l'objectif) sur les paramètres de la calibration. Nous travaillons avec un boîtier de modèle EOS70D. Les autres paramètres (comme par exemple les ouvertures du diaphragme, ISO, et temps de pose...) n'ont pas été modifiés. Un même lieu a été photographié plusieurs fois, avec un recouvrement de l'ordre de 75% ; plus la focale était élevée, plus nous nous plaçons loin de l'objet à photographier.

| | |
|----------------------|---------------------|
| Boîtier | Canon EOS 70D |
| Objectifs | Canon EFS 18-135 mm |
| Ouverture | F7 |
| Temps de pose | 1/400 s |
| ISO | 200 |

Expérience n°1 : on réalise une acquisition avec une focale $f = 18$ mm.

Expérience n°2 : on réalise une acquisition avec une focale $f = 24$ mm.

Expérience n°3 : on réalise une acquisition avec une focale $f = 35$ mm.

Résultats

Les changements obtenus sur les paramètres de calibration ont été répertoriés dans le tableau suivant :

| | x PPS | y PPS | a | b | c | dr |
|-----------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------|
| Exp. n°1 | 2665,51 | 1811,66 | $-9,94.10^{-9}$ | $4,58.10^{-16}$ | $-3,05.10^{-24}$ | -195 |
| Exp. n°2 | 2667,94 | 1836,38 | $-2,74.10^{-9}$ | $2,15.10^{-16}$ | $3,77.10^{-24}$ | 5,72 |
| Exp. n°3 | 2732,75 | 1862,46 | $5,64.10^{-10}$ | $6,86.10^{-17}$ | $2,59.10^{-24}$ | 59,2 |

Analyse des résultats

La détection des points homologues et la mise en place relative ont fonctionné lors des variations de la focale : on obtient de plus en plus de points homologues au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'objet à photographier. Ce résultat pouvait être prévisible dans la mesure où plus l'on s'éloigne de l'objet à photographier, moins on aura de points rasants.

ii) Profondeur de champ et netteté

Protocole expérimental

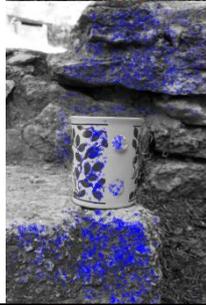
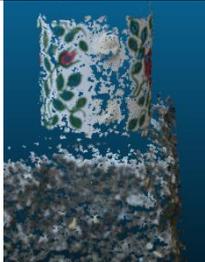
Nous étudions ci-après les influences de la profondeur de champ et de la netteté des images sur les comportements des points de liaison et de la corrélation dense. Nous travaillons avec un boîtier de modèle EOS70D. Les autres paramètres (comme par exemple les ouvertures du diaphragme, ISO et temps de pose, ...) n'ont pas été modifiés.

| | |
|----------------------|---------------------|
| Boîtier | Canon EOS 70D |
| Objectifs | Canon EFS 18-135 mm |
| Ouverture | F8 |
| Temps de pose | 1/50 s |
| ISO | 200 |

Les expériences réalisées ont été répertoriées dans le tableau suivant :

| | | |
|--|------------------|------------------|
| | F = 18 mm | F = 24 mm |
| Mise au point sur un objet au premier plan | Expérience n°1 | Expérience n°3 |
| Mise au point sur un objet à l'arrière-plan | Expérience n°2 | Expérience n°4 |

Résultats

| Focale | 18 mm | | 24 mm | |
|--------------------------|---|---|--|---|
| Mise au point | Premier plan (tasse) | Arrière-plan (muret) | Premier plan (tasse) | Arrière-plan (muret) |
| Points de liaison |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |
| Reconstitution 3D |  |  |  |  |
| Résidus moyens | 0,68 | 0,54 | 0,64 | 0,37 |

Analyse des résultats

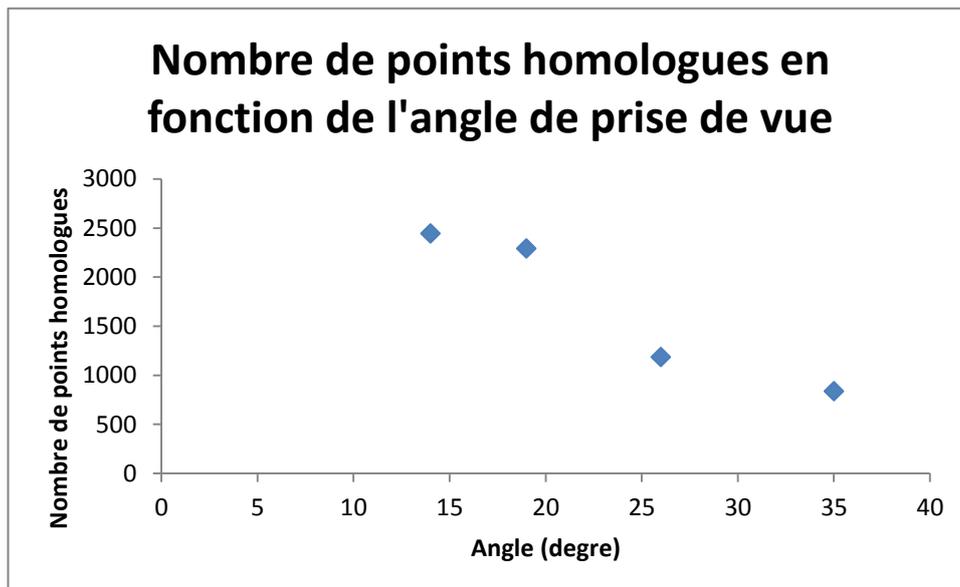
La détection des points homologues et la reconstitution 3D ont abouti lors des changements de focales et de mise au point. Cependant, on obtient une meilleure reconstitution en 3D de l'objet lorsque la mise au point a été faite sur l'objet lui-même. De plus, on obtient plus de points de liaison lorsque la mise au point est faite sur un objet présentant des rugosités (muret de pierres) que sur un objet lisse (tasse).

a) Distribution des incidences

Nous nous intéressons ici à l'influence de l'angle d'incidence lors d'une acquisition sur les points de liaison. Pour cela on photographie un même chantier avec quatre focales différentes et donc avec des distances ajustées pour garder la même emprise et surtout la même résolution. On trouve les résultats suivants :

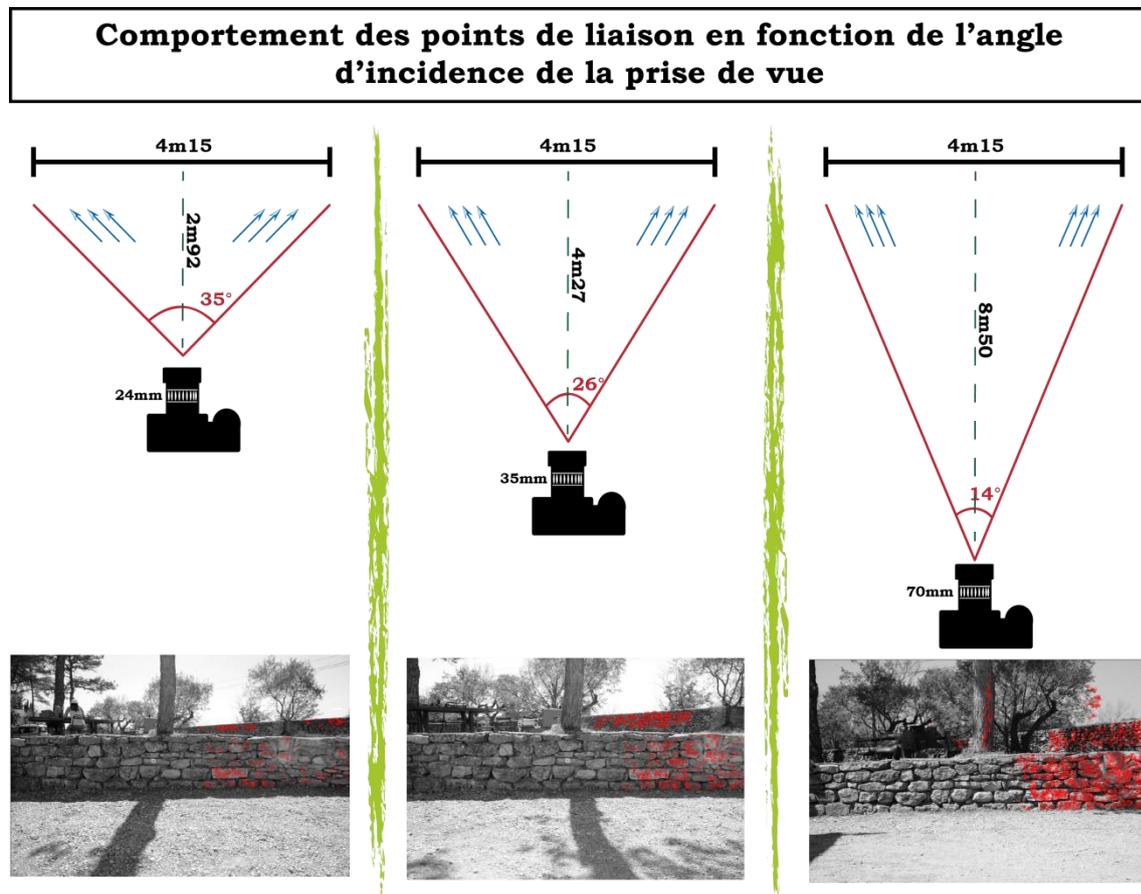
| focale | distance | angle | Nombre moyen de points homologues par photo |
|--------|----------|-------|---|
| 24mm | 2.92m | 35 | 834 |
| 35mm | 3.27m | 26 | 1184 |
| 50mm | 6.10m | 19 | 2289 |
| 70mm | 8.50m | 14 | 2442 |

On peut même tracer une courbe du nombre de points de liaison en fonction de l'angle :



On remarque qu'à partir de 20° le nombre de points augmente fortement et semble se stabiliser aux alentours des 10°. Si le nombre de points de liaison diminue quand l'angle augmente, c'est parce que plus l'opérateur est proche de la cible, plus les rayons lumineux vont être rasants, ce qui fait perdre

en précision. Au contraire, plus on s'éloigne, plus les rayons lumineux sont perpendiculaires à la cible ce qui maximise la précision. On peut ainsi conseiller de chercher le plus souvent possible un angle proche des 10° lors d'une acquisition.



2.3 - Facteurs liés à l'appareil : étude sur la production d'une ortho-photo

a) Influence de la résolution appareil

Une ortho-image est un des produits finals de la photogrammétrie. Elle consiste à avoir une image représentant une zone comme si chaque point était pris au nadir et peut, entre autres, être directement superposée à une carte. Une bonne résolution terrain sur ce genre d'image est alors capitale si elle a pour but d'être superposée à une carte ou va être utilisée pour vectoriser la dite carte. Cette résolution dépend très probablement de la qualité initiale des images utilisées mais à quel point ?

Protocole expérimental

Pour montrer l'impact de la résolution des images sur les ortho-images, nous avons choisi de faire une acquisition sur une surface relativement plate à savoir dans notre cas une des façades de la chapelle St Marc. Cette acquisition est faite en double, une première fois normalement avec une

focale adaptée et une taille d'image maximum (Jeu n°1). La seconde se fait en détériorant la qualité de l'image. Cette détérioration peut se faire de deux manières différentes : en modifiant la focale ou en modifiant la taille de l'image qui va être prise. On choisit alors une taille de 3648*2432px pour l'image faiblement résolue et 5672*3642px pour la plus résolue. On a ainsi un facteur de résolution de 2/3 entre les deux jeux d'images. Dans notre cas nous avons choisi la seconde option car elle permet d'avoir des images avec la même emprise terrain mais une résolution terrain différente (Jeu n°2). Pour la prise de photo, celle-ci est faite en alternant les deux types de résolutions pour que l'opérateur ait à peu près la même position et donc la même emprise. Le recouvrement choisi était de 80 % pour avoir des ortho-images avec un minimum de pixel sans valeur radiométrique par manque de donnée sur des bords.

A cela va s'ajouter la topométrie pour donner une échelle métrique à nos images. Ce chantier s'est effectué dans un repère local centré sur un des centres optiques de tachéomètre. Dans notre cas, le but est de donner une échelle métrique à notre chantier photogrammétrique et à nos ortho-images. Une fois ces deux jeux pris, ils sont traités chacun de leur côté avec MicMac pour en faire des ortho-images. Ce traitement permet d'aboutir à des ortho-images ayant des tailles en pixels différentes mais une emprise terrain similaire. Enfin, un découpage d'un même détail est effectué pour pouvoir comparer de manière fiable la résolution terrain. Ce détail est mesuré sur les deux images en taille pixel et en taille métrique pour aboutir à une résolution terrain.

En plus de ces deux jeux, deux jeux sont créés à partir des images du jeu 1 qui vont voir leur taille réduite de 66 % (taille des images du jeu n°2) (jeu n°3) et 50 % (taille d'image de 2836*1821px) (jeu n°4). Ces jeux vont aussi rentrer dans le processus photogrammétrique et donner une ortho-image. Par souci de temps, ces jeux n'ont pas été mis en donnée métrique avec la topométrie.

Résultats

Le produit des différentes ortho-images est disponible en annexe.

Le détail choisi était un des écriteaux de la façade et sa hauteur a été mesurée. Sa taille mesurée sur le terrain est de 29,7cm.

| Jeu | Taille Terrain (m) | Taille Image la plus au Nadir (px) | Taille Ortho-image (px) | Résolution Terrain (mm/px) |
|----------------------------|--------------------|------------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Bonne Qualité (Jeu 1) | 0,297 | 296 | 298 | 1 |
| Mauvaise Qualité (Jeu 2) | 0,298 | 198 | 188 | 1,59 |
| Bonne Qualité 66 % (Jeu 3) | Non déterminée | 197 | 198 | Non déterminée |
| Bonne Qualité 50 % (Jeu 4) | Non déterminée | 148 | 140 | Non déterminée |

Le facteur entre les deux résolutions terrain est de : $1/1,59=0,63$

Ce facteur est inférieur à $2/3$ (qui correspond au facteur d'échelle entre les deux tailles des images brutes des jeux 1 et 2), ce qui veut dire qu'on a une petite perte de résolution dans la construction de l'ortho-image. En effet, sur les images brutes, 1 pixel d'une image du jeu 2 correspond à 1,5 pixel d'une image du jeu 1 alors que sur l'ortho-image, cette valeur monte à 1,59 pixel.

On remarque par ailleurs une différence de taille significative du détail en pixels entre les images brutes les plus au nadir et l'ortho-image dans le cas des images du jeu 2 (variation de 5%) alors que celle-ci est bien plus faible, voire négligeable pour les jeux 1 et 3 (variation de 0,68 et 0,51 %). Cette différence se remarque aussi sur le jeu 4 où la variation est de 5,4 % sachant que l'image de taille deux fois plus petite.

Les deux ortho-images des jeux 1 et 2 ne représentent pas autant d'éléments. En effet, deux buissons étaient présents en avant du mur de la chapelle. Celui à droite a été bien représenté sur les deux images mais celui à gauche est absent de l'image avec une meilleure qualité. Pourtant, les deux jeux ont été pris au même moment et les buissons étaient présents sur toutes les images. En zoomant sur le buisson dans l'image peu résolue, on remarque que sa reconstitution est très médiocre, et cela est peut-être dû à une mauvaise prise de photo ou à un objet difficile à reconstituer.

Sur les jeux 3 et 4, le buisson est aussi présent mais sa qualité est meilleure malgré une résolution plus faible d'image dans le cas du jeu 4 (absence de flou sur les jeux n°3 et 4) ce qui tend à faire penser que ce problème est en partie issu de la qualité des images prises pour le jeu 2. Cette idée est renforcée par le fait que la mise en place relative possède des résidus bien plus faibles dans le cas des jeux n°1,3 et 4 (ordre de respectivement 0,30px, 0,24px et 0,18px) que le jeu 2 (ordre de 0,68px). Cependant, cela n'explique pas la présence du buisson sur les jeux 3 et 4 et pas sur le jeu 1 alors que les images de base sont les mêmes avec une résolution plus faible.

Conclusion

La qualité initiale et la résolution des photos ont une influence sur la reconstruction d'ortho-image. La première intuition de penser que plus l'image est résolue, plus l'ortho-image le sera est confirmée. Cependant, on remarque une détérioration de l'ortho-image quand la résolution devient plus faible ou quand le jeu de données est moins bon. Les ortho-images moins résolues semblent à première vue aussi plus laxistes pour les éléments mal reconstitués ou plus difficiles à reconstituer comme un buisson. Enfin, il est essentiel de noter que les ortho-images créées ici sont faites à partir d'une carte de profondeur issues des images et non d'un MNT ou MNS dont la résolution terrain aurait pu être plus mauvaise.

b) Influence du MNT, MNS et de la projection du nuage de points 3D

Pour réaliser une ortho-image, un opérateur possédant un jeu de donnée peut procéder de différentes manières. L'ortho-image peut être créé à partir des images que l'opérateur possède et en s'appuyant sur un MNT, sur un MNS ou en projetant le nuage de points obtenu par traitement photogrammétrique. Chaque méthode utilisant des données différentes, il est probable que les ortho-images résultantes le soient aussi. Nous allons ainsi faire une ortho-image à partir d'un MNT et une autre à partir d'un MNS afin de les comparer.

Protocole expérimental

Nous avons pris un des sols d'une salle de classe dans deux acquisitions. Celles-ci s'effectuaient avec un recouvrement intra-bande d'environ 80 % et inter-bande de 50 % pour avoir la meilleure qualité d'ortho-image possible. Dans un premier temps, le sol était à « nu » et cette première acquisition d'image nous permet de faire notre MNT. Avant la seconde, nous avons placé divers objets (casquette, boîte,...) sur le sol pour représenter un sursol. Cette seconde acquisition nous permet de faire un MNS.

Une fois ces deux acquisition faites, nous pouvons passer au traitement, celui-ci se compose en deux parties. La première consiste à faire un traitement photogrammétrique pour aboutir à une ortho-image. Nous possédons ainsi une ortho-image issue du MNT qui n'est pas très utile et une issue du MNS qui constitue une partie des produits finaux souhaités.

La deuxième partie consiste à faire une ortho-image de la zone avec le sursol à partir du MNT créé avec la première acquisition, celui-ci étant représenté comme une image de hauteur. Cependant, nous n'avions pas effectué de topométrie sur la zone et n'avions donc aucun moyen de rattacher l'orientation relative du MNT à celle du MNS. Deux possibilités s'offraient alors : rechercher dans la documentation un moyen de faire autrement ou faire un chantier topo pour créer au moins 3 points d'appuis. La première option fut choisie car même en ayant le MNS, nous n'avions pas trouvé de fonction dans MicMac permettant de créer une ortho-image avec dans ses paramètres d'entrée un MNT (la fonction PIMs2MNT créant le MNT associé à la zone et les ortho-images en même temps). Nous avons trouvé dans la documentation MicMac une fonction nommée Tarama qui prend en entrée les images et les fichiers d'orientation relative ainsi qu'en paramètre facultatif un repère (créé dans notre cas avec la fonction RepLocBascule qui intervient dans le processus de création d'ortho-image) et va créer une ortho-image au format .tif en noir et blanc. Le repère issu de RepLocBascule se faisant par rapport à un plan défini par l'opérateur, nous avons pu définir le plan du sol comme repère et pouvons ainsi avoir une ortho-image projetée sur un pseudo- MNT.

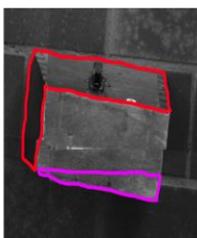
Cette solution n'ayant pas besoin du MNT, la première acquisition traitée n'aura pas servi dans le cadre de la fabrication d'ortho-image.

Résultats

L'ortho-image issue du MNS possède une anomalie de masque. En effet, certaines zones sur l'ortho-image sont masquées par d'autres lors des prises de vue et apparaissent donc noires sur l'ortho-image (zones entourées

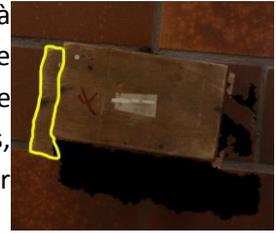


en vers sur l'image ci-contre).



L'ortho-image issue du MNT possède deux types d'anomalies. La première est un masque des zones comme dans l'ortho-image du MNS mais cette fois les zones n'apparaissent pas noires mais colorées avec les sursols masquant (zones entourées en violet sur l'image ci-contre). La seconde est le devers qui va faire apparaître des façades du sursol normalement absentes sur un ortho-image (zones entourées en rouge sur l'image ci-contre).

Dans le cas de certaines ortho-images faites avec le MNS prises à part, c'est à dire avant le mosaïsme, un dernier phénomène de dédoublement de l'information est visible (zones entourées en jaune sur l'image ci-contre). Ce dédoublement s'explique de la même manière que le masque mais dans ce cas, au lieu de ne mettre aucune valeur radiométrique, MicMac va affecter la valeur

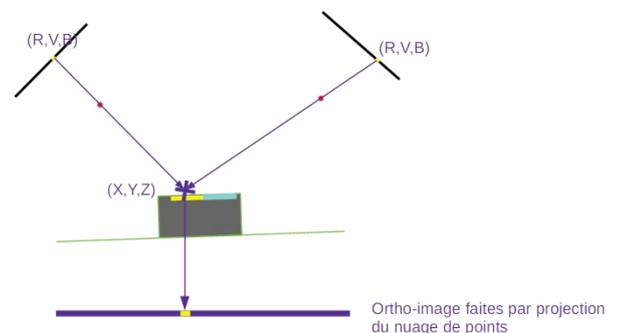


radiométrique de l'élément masquant aux pixels masqués.

Ortho-image à partir d'un nuage de points 3D

Le cas de la projection du nuage de point 3D :

Dans ce cas, aucune photo ou ortho-image n'a pu être effectuée par manque de temps et la non connaissance d'une fonction de MicMac pour effectuer ce type de produit. De ce fait, la seule anomalie a priori identifiable est celle d'un doublon (ou plus) de coordonnées planimétriques sur des façades à pic. Il y a alors litige entre les deux points sur la valeur radiométrique du pixel de l'ortho-image et, suivant ce que l'opérateur souhaite, il choisit la valeur à mettre sur l'ortho-image. Il peut par exemple prendre la valeur radiométrique du pixel possédant l'altitude la plus haute car c'est celle-ci qui sera prise si on survole la zone en avion.



Conclusion

Chaque base utilisée pour faire une ortho-image (MNT, MNS ou nuage de point 3D) conduit lors de la fabrication d'ortho-images à des anomalies diverses dégradant la qualité de l'ortho-image en masquant de l'information. Il tient alors à l'opérateur de choisir le bon type de base pour son ortho-image en fonction des demandes. Il est aussi possibles de combiner les différentes techniques pour avoir un maximum d'information moyennant un coût et un travail plus important pour les quelques zones d'anomalies.

III-Illustrations relatives à la distorsion

Les expériences « terrain » réalisées dans cette partie ont pour objectif de mesurer l'influence de perturbations sur l'ensemble des paramètres de calibration ou sur les seuls paramètres de distorsion.

3.1-Influence d'un changement de matériel

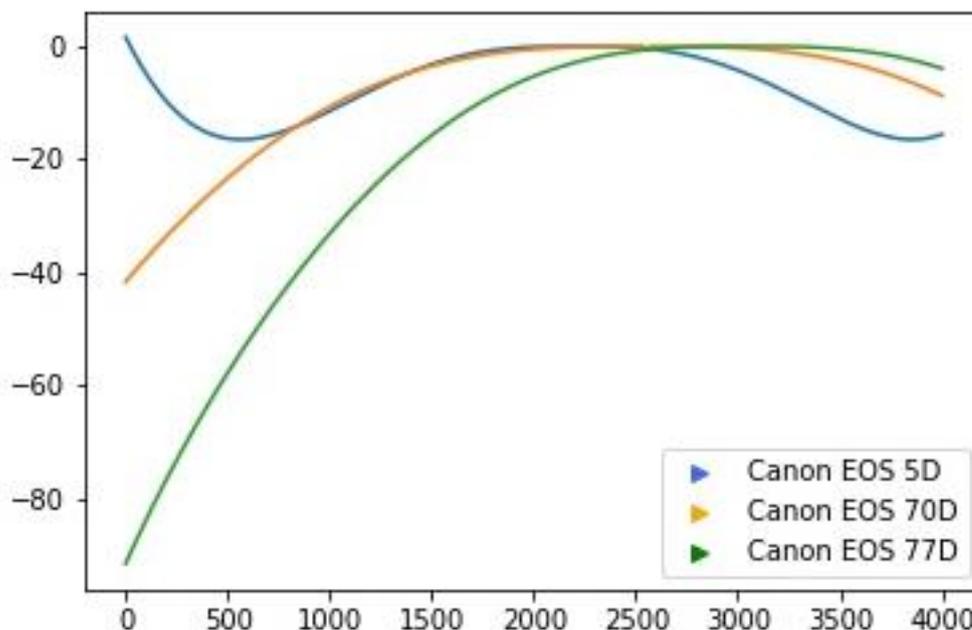
a) Boîtier

Protocole expérimental

Nous allons étudier ici les variations des coefficients du polynôme de distorsion lorsque l'on remplace le boîtier par un autre réglé de manière identique. Pour cela nous utilisons 3 boîtiers différents – un Canon EOS 5D, un Canon EOS 70D et un Canon 77D - et nous réalisons 3 séries d'acquisition, sur trépied en intervertissant entre chaque position les boîtiers afin de garantir une même position pour chaque cliché dans chaque boîtier. Les réglages sont indiqués ci-dessous et le recouvrement est de l'ordre de 80%.

| | |
|----------------------|--------------------|
| Objectif | Canon EFS 18-135mm |
| Focale | 24mm |
| Ouverture | F8 |
| Temps de pose | 1/40 |
| ISO | 400 |

Pour mieux appréhender les polynômes obtenus, on décide de tracer sur un graphe 2D les courbes. Le problème étant que $dr(x,y)$ est une fonction à 2 variables, on choisit de ne prendre que les points situés sur la 1^{ère} diagonale d'une image fictive faisant 4000 pixels en diagonale et on obtient le graphe suivant :



Polynômes de distorsion pour différents boîtiers évalués sur une diagonale de 4000px d'une image fictive

On peut remarquer que les courbes de distorsion du Canon 70D et du 77D sont relativement semblables contrairement à celle du 5D. On peut expliquer cela par la nature des capteurs des boîtiers ; le 5D a un capteur plein-format – 24x36mm – ce qui n’est pas le cas des deux autres. L’optique de l’objectif ici ne peut être pleinement responsable car on a utilisé le même sur tous les boîtiers.

Ainsi dans le contexte d’un chantier, si un boîtier vient à être défectueux, on a vu que le remplacer par un autre peut ne pas être sans conséquence sur le post-traitement ; idéalement il faudrait le remplacer par un boîtier du même modèle ou dans le pire des cas par un modèle similaire.

| Boîtier | 5D | 77D | 70D |
|---------|---------------|---------------|---------------|
| x PPS | 2246,009586 | 3002,574318 | 2553,497631 |
| y PPS | 1418,339252 | 2107,748327 | 1856,133155 |
| a | -5,880482E-09 | -2,778124E-09 | -3,102224E-09 |
| b | 1,096433E-15 | 1,145439E-16 | 1,058987E-16 |
| c | -3,551268E-23 | -3,416785E-24 | -2,201051E-24 |

Résultats de calibration après traitement Micmac

b) Objectif à même focale

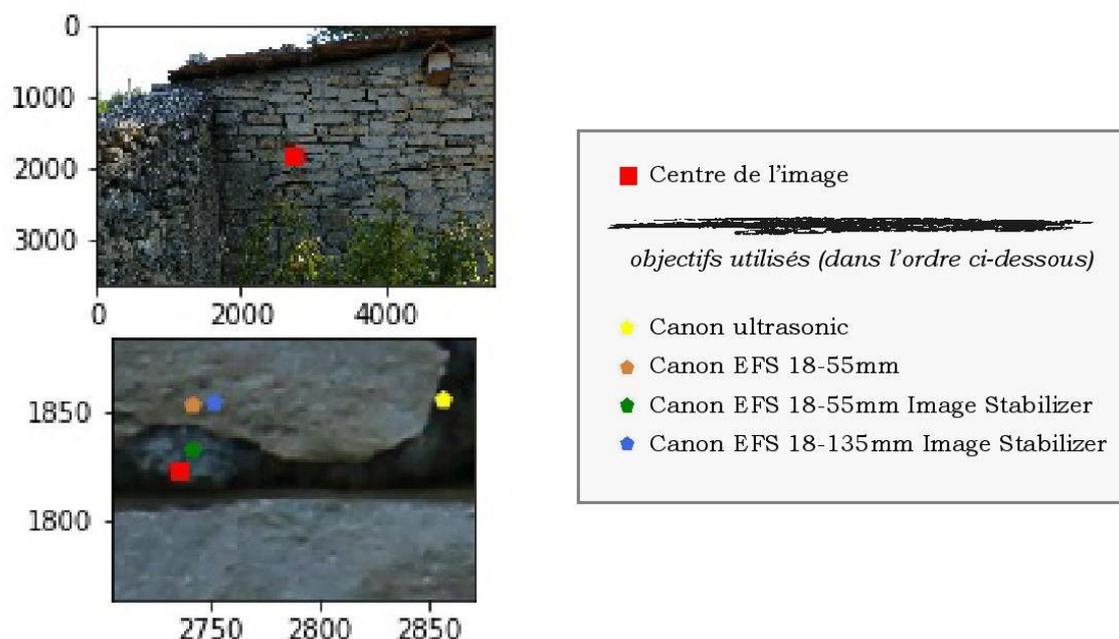
Protocole expérimental

Nous allons maintenant faire l’inverse du point précédent, à savoir tester le comportement de la distorsion mais cette fois-ci en prenant différents objectifs pour un même boîtier. Nous allons utiliser le même protocole que précédemment avec 4 objectifs différents indiqués ci-dessous :



| | |
|---------------|---------------|
| Appareil | Canon EOS 70D |
| Focale | 35mm |
| Ouverture | F8 |
| Temps de pose | 1/200 |
| ISO | 200 |

Le boîtier étant le même pour chaque série d’acquisition, les images ont donc la même résolution. Ainsi on représente sur une même image les différents PPS et leur position par rapport au centre de l’image, et on obtient le résultat suivant :



Comportement du PPS pour un même boîtier et différents objectifs à réglages identiques

Globalement le PPS est très proche du centre, néanmoins on voit que celui de l'ultrasonic se détache du paquet central d'au moins 100px vers la droite. On peut le comprendre car son optique est a priori bien différente de celle des EFS. En effet l'ultrasonic de par sa conception a une emprise d'image plus large pour s'adapter à une grande gamme d'appareils tandis que les EFS sont faits seulement pour des capteurs APS-C, c'est-à-dire grossièrement des capteurs qui ne sont pas plein-format.

Comme au point précédent, on voit que changer un objectif lors d'un chantier peut avoir un impact en post-traitement pour peu que l'on prenne un modèle trop différent.

| Objectif | ultrasonic | EFS 18-55mm | EFS 18-55mm IS | EFS 18-135mm IS |
|--------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|
| x PPS | 2856.523603 | 2741.547571 | 2735.604847 | 2752.001039 |
| y PPS | 1856.720959 | 1853.703815 | 1833.186351 | 1855.328998 |
| a | -4.42323E-10 | -7.27570E-10 | -2.88073E-10 | 7.83556E-10 |
| b | 6.89116E-17 | 1.77598E-17 | 3.84867E-17 | 8.57723E-17 |
| c | -2.28523E-24 | 9.23225E-25 | -6.51841E-25 | 2.23805E-24 |

Résultats de calibration après traitement Micmac

c) Fixation et re fixation de l'objectif

Protocole expérimental

Nous étudions ci-après l'influence de la re fixation d'un objectif avec lequel on venait de faire des acquisitions sur les paramètres de la calibration. Nous travaillons avec un boîtier de modèle EOS70D. Les autres paramètres (comme par exemple les focale, ouverture du diaphragme, ISO et temps de pose, ...) n'ont pas été modifiés. Un même lieu a été photographié plusieurs fois, avec un recouvrement de l'ordre de 75%.

| | |
|----------------------|---------------------|
| Boîtier | Canon EOS 70D |
| Objectif | Canon EFS 18-135 mm |
| Focale | 18 mm |
| Ouverture | F7 |
| Temps de pose | 1/400 s |
| ISO | 200 |

Expérience n°1 : on réalise une acquisition avec une focale $f = 18$ mm.

Expérience n°2 : on détache l'objectif du boîtier de l'appareil photo et on le raccroche. On réalise alors à nouveau une acquisition avec une focale $f = 18$ mm.

Résultats

| | Influence sur la mise en place |
|-----------------------|--------------------------------|
| Expérience n°1 | Résidus moyens : 0,50 |
| Expérience n°2 | Résidus moyens : 0,41 |
| Bilan | Pas de perturbation |

Les changements obtenus sur les paramètres de calibration ont été répertoriés dans le tableau suivant :

| | x PPS | y PPS | a | b | c | Distorsion maximale |
|-----------------|---------|---------|-----------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|
| Exp. n°1 | 2665,51 | 1811,66 | $-9,94 \cdot 10^{-9}$ | $4,58 \cdot 10^{-16}$ | $-3,05 \cdot 10^{-24}$ | -195 |
| Exp. n°2 | 2683,72 | 1801,38 | $-9,90 \cdot 10^{-9}$ | $4,87 \cdot 10^{-16}$ | $-4,77 \cdot 10^{-24}$ | -189 |

Analyse des résultats

La détection des points homologues et la mise en place relative ont fonctionné lors du détachement de l'objectif de l'appareil photo : on obtient approximativement le même nombre de points homologues avant et après détachement et remise en place de l'objectif. Ce résultat pouvait être prévisible dans la mesure où l'on utilise le même appareil photo à la même focale. Ainsi, les paramètres de calibration ne varient effectivement pas si on ne les change pas.

3.2-Influence séparée des paramètres de calibration de la caméra sur la reconstruction 3D

Description du protocole expérimental

Une première acquisition est effectuée avec les préconisations nécessaires pour un bon traitement photogrammétrique. Le nuage de points obtenu après corrélation dense fera office de témoin pour les expérimentations qui suivent. Les paramètres de calibration sont tour à tour perturbés comme décrit ci-après :

- On change les valeurs des coordonnées du PPA en laissant les autres paramètres inchangés.
- On change les valeurs des coefficients du polynôme de distorsion en laissant les autres paramètres inchangés.
- On change les valeurs du PPS en conservant les autres paramètres.

Expérience 1 (témoin) :

On réalise une acquisition avec une ouverture choisie à 8 et un temps de pose égal à 1/500 s puis on lance un traitement jusqu'à l'aboutissement à la reconstruction 3D dans un repère arbitraire.

| | |
|--------------------|--------------|
| Appareil photo | Canon EOS 5D |
| Focale | 35 mm |
| Nombre d'ouverture | F8 |
| Temps de pose | 1/500 s |

Expérience 2 : Perturbation de la position du PPA

On réalise le traitement décrit précédemment aboutissant à la reconstruction 3D en modifiant à dessein le fichier d'auto calibration obtenu par l'algorithme MicMac. On remplace les coordonnées du PPA calculées avec MicMac par les coordonnées suivantes :

| | |
|-----------------------|---------------------------------------|
| Anciennes coordonnées | (2200.64366911173 , 1452.84565309184) |
| Nouvelles coordonnées | (2183.82299448231 , 1441.60173708103) |

Ces coordonnées ne sont pas choisies au hasard, elles proviennent du fichier d'auto calibration déterminé pour une ouverture de 4.5 sur le même jeu de données. Nous testons dans quelle mesure ces nouveaux paramètres viennent dégrader le rendu après la reconstruction 3D.

Expérience 3 : Modification des valeurs du polynôme de distorsion

On réalise le même traitement en modifiant cette fois les coefficients du polynôme de distorsion dans le fichier d'auto calibration, par les coefficients du polynôme obtenu pour une ouverture égale à 22.

| | a | b | c |
|-----------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Ancienne valeur | -2.46417155470196867e-10 | 4.86434879771203917e-16 | -2.25751383850455323e-23 |
| Nouvelle valeur | 1.54655438384877e-09 | 1.93811230633441e-16 | 4.66485885257864e-24 |

Expérience 4 : Perturbation de la position du PPS

On réalise le même traitement en modifiant les coordonnées du PPS, les autres facteurs de calibration demeurant inchangés.

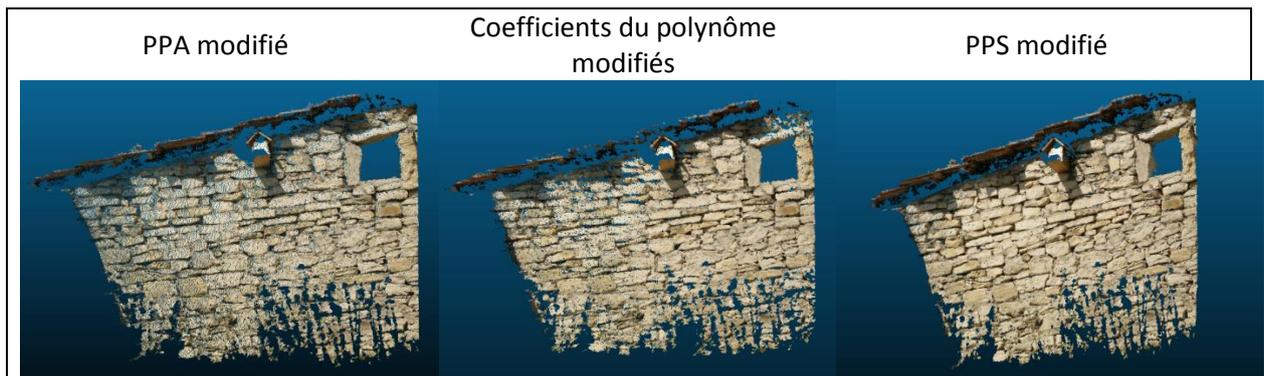
Anciennes coordonnées (2208.15632489024483 , 1496.33082833975095)

Nouvelles coordonnées (2142.11437817292335 , 1491.84365986438092)

Résultats obtenus

On illustre ci-après l'influence de chacune des modifications sur la reconstruction 3D :

Expérience témoin



On remarque des déformations géométriques assez notables sur la corrélation dense. La modification du PPS a tendance à compacter et à arrondir les bords du nuage de points alors qu'une perturbation du PPA allonge sensiblement le haut gauche de l'image. Par ailleurs le fait d'avoir perturbé les coefficients du polynôme de distorsion entraîne des manques sur les zones hautes du mur situées sur la gauche comme en témoigne la comparaison des carrés de pixels ci-dessous :



Témoïn



Coefficients modifiés

3.3-Logiciel pour appréhender la distorsion

Les clichés réalisés lors d'une acquisition comportent une déformation appelée distorsion, qui résulte de la perspective selon laquelle les objets du monde réel sont retranscrits dans le plan image de l'appareil photo. Différents modèles permettent de corriger ce phénomène mais le modèle standard dit « Radial Standard » suffit à redresser les images de la plupart des appareils photos. C'est ce modèle qui a été intégré à l'outil que nous avons développé pour visualiser l'influence de la distorsion sur une image brute, prise à partir d'un appareil. L'interface permet à l'utilisateur de jouer à sa guise sur les paramètres de distorsion pour générer l'image corrigée. Il est également possible d'extraire les paramètres à partir du fichier d'auto calibration donné par la chaîne de traitement 'MicMac'.

On visualise par exemple deux types de corrections selon que la distorsion est dite en « coussinet » ou en « barillet ».

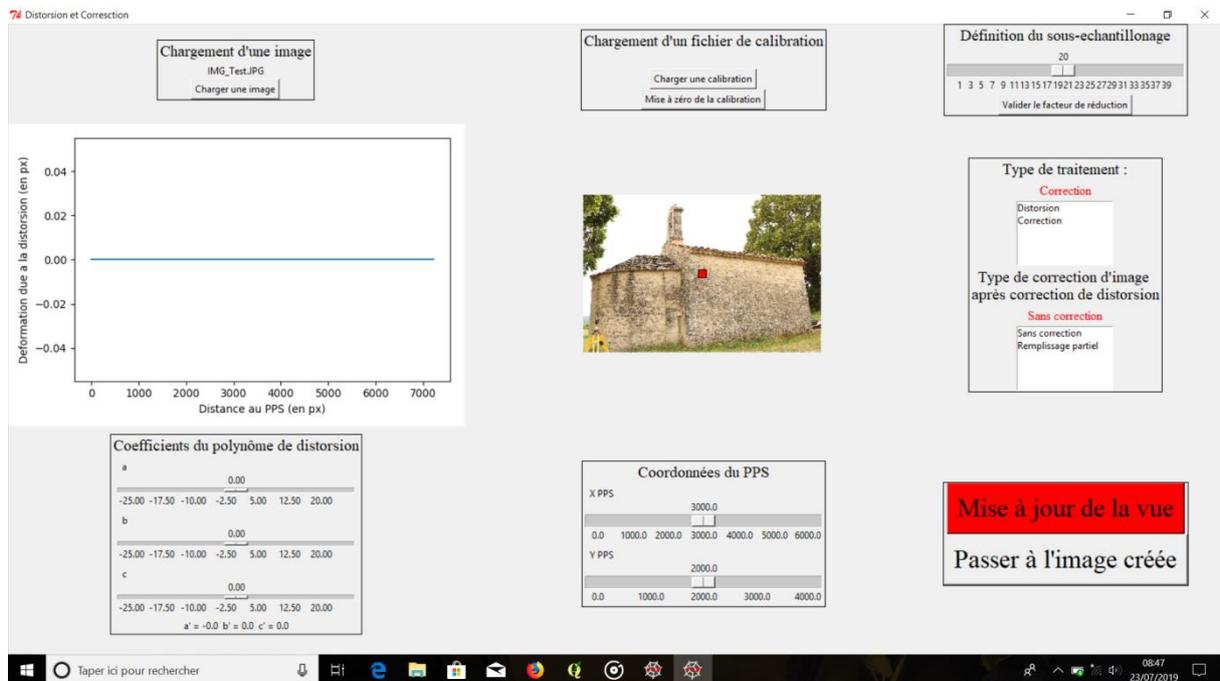


Figure 1 : Écran de base du logiciel

Conclusion

En conclusion, nous pouvons dire que l'illustration des principes photogrammétriques implique de bien comprendre et maîtriser l'ensemble des notions associées. En effet, certaines méthodes d'illustration conviennent mieux à certains types de problématique : pour expliquer le relèvement angulaire, nous avons privilégié une vidéo tandis que pour illustrer le devers dans une ortho-image, un exemple concret sur une ortho-image de devers est plus explicite.

Il faut par ailleurs tenir compte de la complexité des notions pour illustrer de manière claire, quitte à faire certaines approximations et vulgarisations en première approche, puis complexifier les illustrations.

Compte tenu du grand nombre de notions à aborder, une bonne répartition des tâches dans le groupe a été nécessaire. De plus, celle-ci permettait aux membres d'exprimer leurs points forts dans l'illustration des notions.

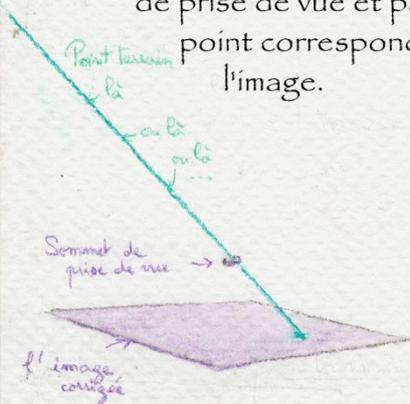
Annexes

Illustrations obtenues

Annexe A – BD explicative du programme d'orientation relative

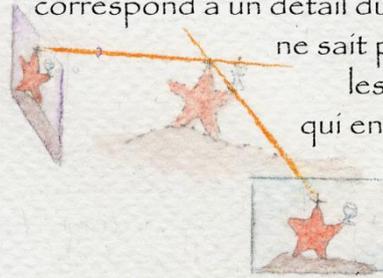
ORIENTATION RELATIVE

Les paramètres internes de l'appareil photo utilisé sont connus. On a corrigé les images de la distorsion, donc on sait que chaque point du terrain se situe sur une droite passant par le sommet de prise de vue et par le point correspondant sur l'image.

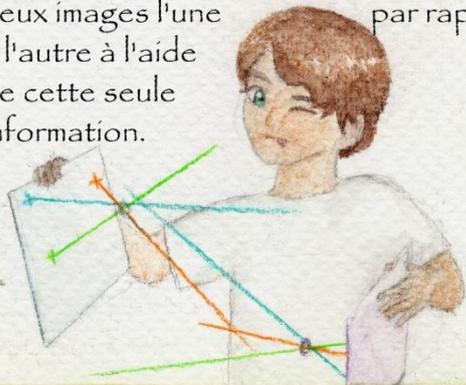


Maintenant, on essaie de trouver comment deux images sont positionnées l'une par rapport à l'autre.

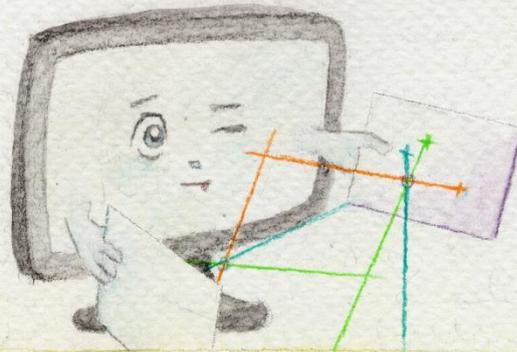
Tout ce qu'on sait, c'est que quand on voit un même détail sur les deux images, ce détail correspond à un détail du vrai monde. On ne sait pas où il est, mais les rayons lumineux qui en sont partis pour l'imprimer sur les images doivent forcément se croiser, en ce point-là.



Le but du jeu est de repositionner les deux images l'une par rapport à l'autre à l'aide de cette seule information.



Mieux : de demander à un ordinateur de le faire à notre place.



Il existe des solutions à ce problème (la preuve : MicMac fonctionne). Les premières solutions étaient itératives : on donnait une solution approchée, puis on faisait varier doucement les paramètres jusqu'à ce que le résultat soit satisfaisant. D'autres solutions font appel à des calculs de matrices et leur décomposition en translations et matrice de rotation.

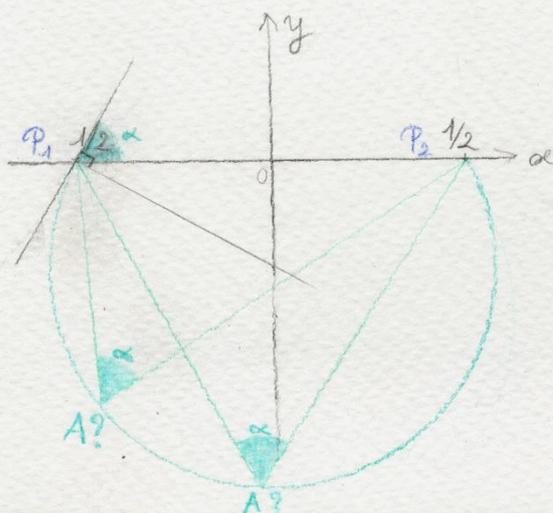
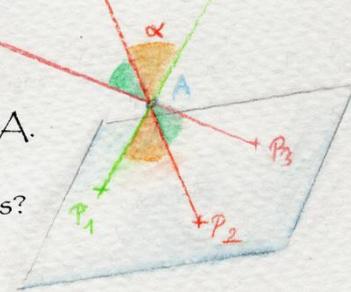
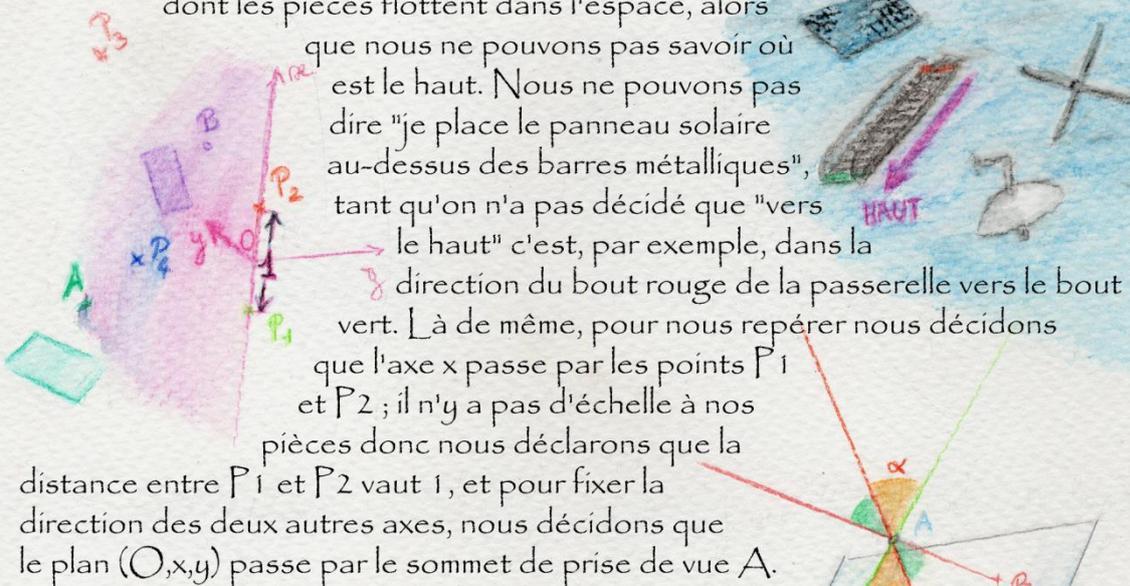
Nous avons expérimenté une manière plus graphique de résoudre ce problème.

Dans ce problème, nous ne connaissons aucune position d'aucun objet dans aucun repère connu, et nous essayons d'assembler les pièces ensemble ; c'est un peu le même problème que si nous devions assembler un satellite dont les pièces flottent dans l'espace, alors

que nous ne pouvons pas savoir où est le haut. Nous ne pouvons pas dire "je place le panneau solaire au-dessus des barres métalliques", tant qu'on n'a pas décidé que "vers le haut" c'est, par exemple, dans la direction du bout rouge de la passerelle vers le bout vert. Là de même, pour nous repérer nous décidons que l'axe x passe par les points P_1 et P_2 ; il n'y a pas d'échelle à nos pièces donc nous déclarons que la distance entre P_1 et P_2 vaut 1, et pour fixer la direction des deux autres axes, nous décidons que le plan (O,x,y) passe par le sommet de prise de vue A .

Nous avons notre repère. Que connaissons-nous?

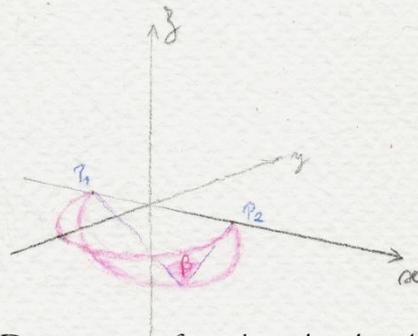
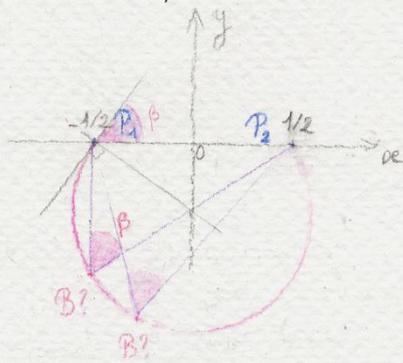
Nous savons sous quel angle est vue chacune des paires de points, depuis chaque image.



Ces informations vont nous permettre de retrouver les positions des sommets de vue A et B dans ce repère relatif.

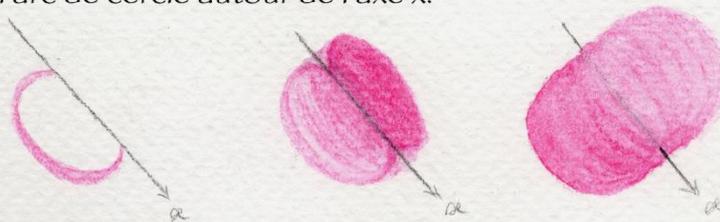
Pour commencer, nous connaissons l'angle sous lequel A voit $[P_1 P_2]$: nous en déduisons que A se trouve sur un arc de cercle (vérifiez avec un rapporteur, ça marche).

De même pour B.

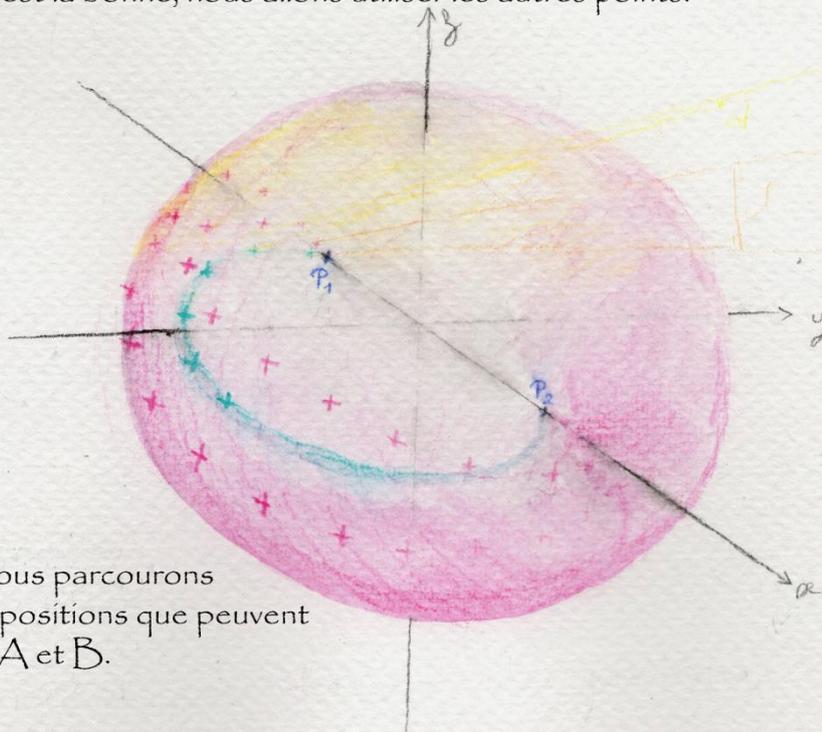


Sauf que B n'est pas fixé dans le plan (Oxy)

Il peut donc être n'importe où à la surface du tore qu'on obtient lorsqu'on fait tourner l'arc de cercle autour de l'axe x.

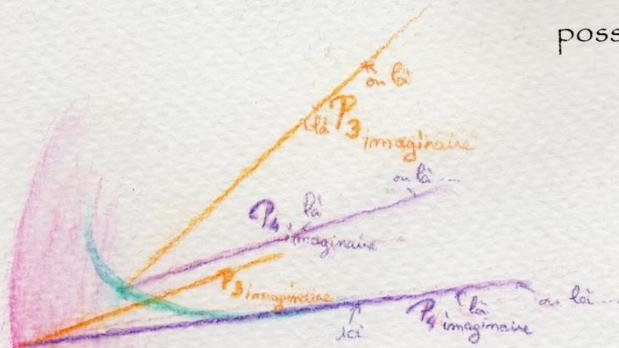


Pour savoir laquelle des positions de A sur son arc de cercle et de B sur son tore est la bonne, nous allons utiliser les autres points.

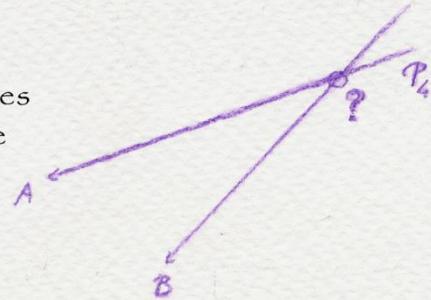


Nous parcourons alors les positions que peuvent prendre A et B.

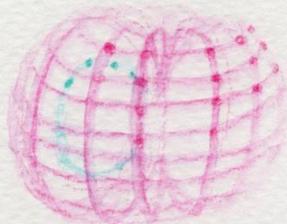
Et pour chacune de ces positions possibles, nous calculons les demi-droites sur lesquelles chacun des points se trouverait, si A et B étaient vraiment là.



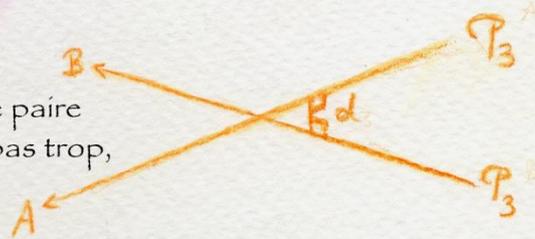
Puis nous regardons si les demi-droites correspondant à un même point s'intersectent. Si c'est le cas, c'est que la position de A et de B que nous sommes en train de tester est possible.



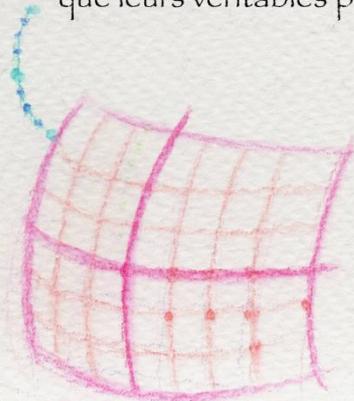
En fait, ces demi-droites ne vont (presque) jamais toutes se couper, puisque nous n'allons pas essayer toutes les positions de la surface du tore et de l'arc de cercle : il y en aurait une infinité. Nous n'allons en essayer qu'une tous les dix degrés, par exemple.



Alors nous allons mesurer de combien les demi-droites de chaque paire sont espacées, et si elle ne le sont pas trop, nous allons garder les positions de A et B en mémoire, en se disant



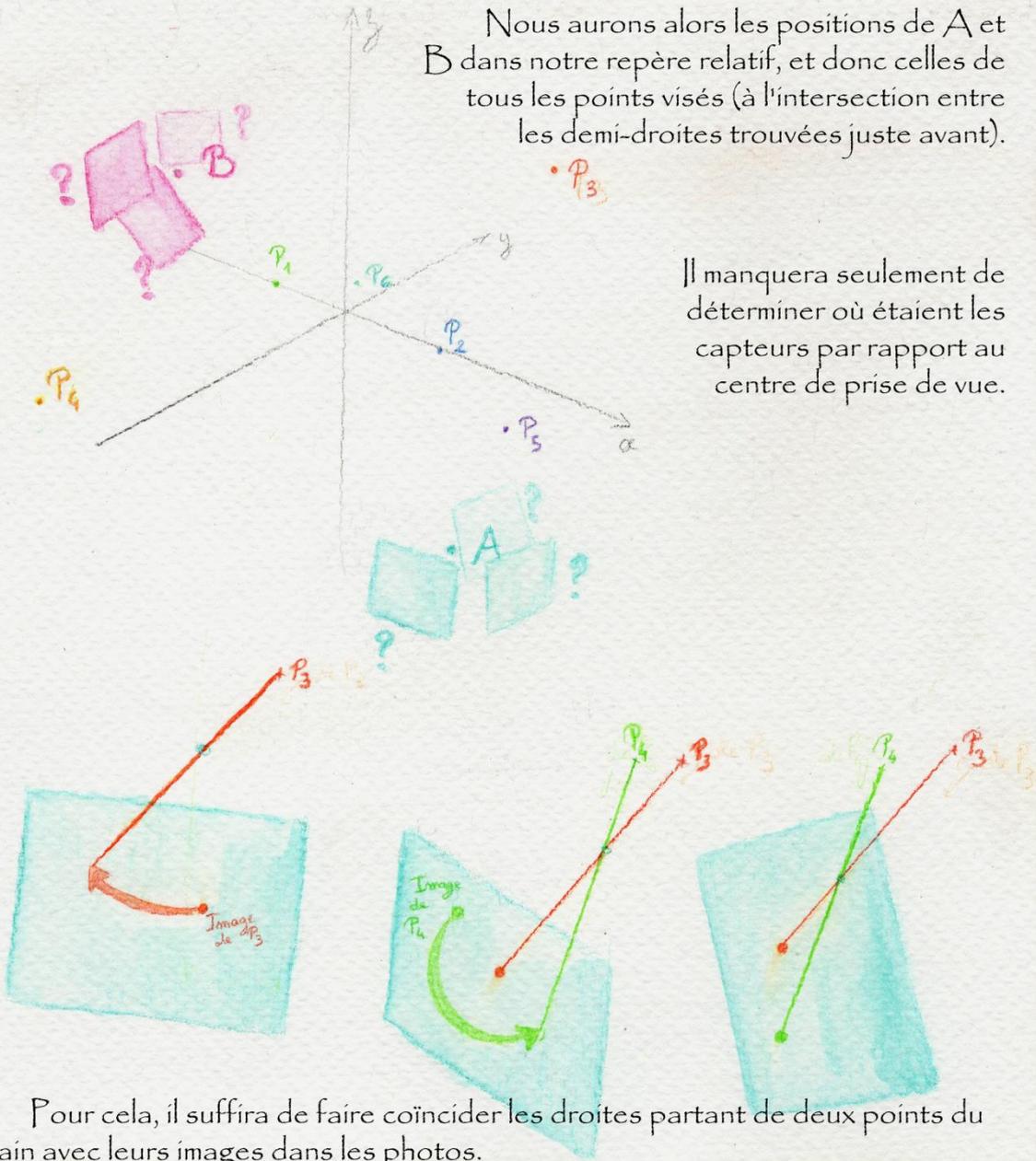
que leurs véritables positions ne sont pas trop éloignées.



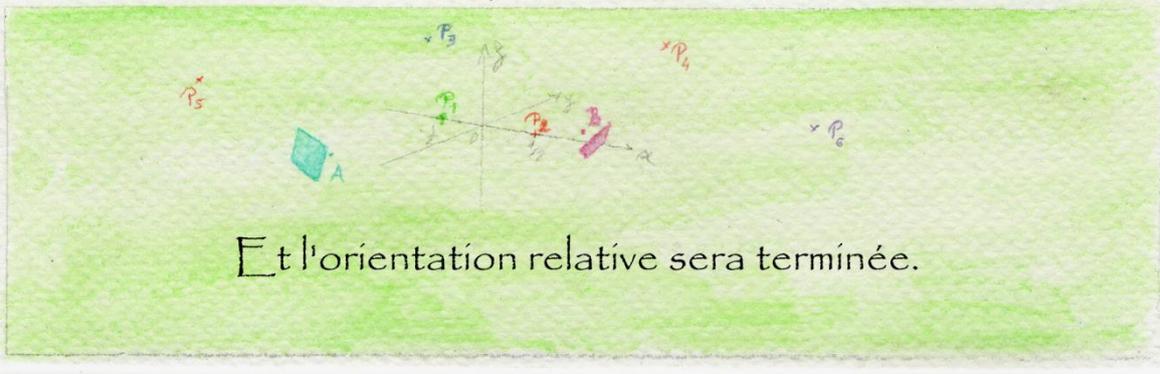
Ensuite, nous regarderons plus finement autour de ces positions quelle position donne le plus faible écart, et ainsi de suite jusqu'à avoir la position de A et de B avec la précision que l'on souhaite.

Nous aurons alors les positions de A et B dans notre repère relatif, et donc celles de tous les points visés (à l'intersection entre les demi-droites trouvées juste avant).

Il manquera seulement de déterminer où étaient les capteurs par rapport au centre de prise de vue.



Pour cela, il suffira de faire coïncider les droites partant de deux points du terrain avec leurs images dans les photos.



Et l'orientation relative sera terminée.

Annexe B – Ortho-images issus de résolutions images différentes



Image 1:Jeu 1



Image 2:Jeu 2



Image 3:Jeu 3



Image 4 : Jeu 4

Annexe C - Illustrations des différents types de flou

Nous avons réalisé une série de photos visant à illustrer les différents types de flou que l'on peut rencontrer en photographie :

Pour une même scène, nous avons pris une photo nette puis des photos avec différents types de flou.

Nous avons fait en sorte d'avoir toujours un éclairage de la scène à peu près constant et approuvé par l'appareil photo (un Canon EOS 70D).

- Image nette - :



ISO : 200

Nombre d'ouverture : F/9

Temps d'exposition : 1/320 s

Mise au point sur le sujet

- Image floutée par une mauvaise mise au point - :



ISO : 200

Nombre d'ouverture : F/9

Temps d'exposition : 1/320 s

Mise au point à 20 cm de l'appareil, soit bien avant le sujet

- Image floutée par un grand ISO - :



ISO : 12800

Nombre d'ouverture : F/14

Temps d'exposition : 1/8000 s

Mise au point sur le sujet

La différence n'est pas flagrante sur l'image globale, mais en zoomant on remarque que les contours sont moins bien définis que sur l'image nette :



Image 5 : ISO 12800



Image 6 : ISO 200

- Image floutée par un mouvement du photographe - :



ISO : 100

Nombre d'ouverture : F/22

Temps d'exposition : 1/4 s

Mise au point sur le sujet

- Image floutée par le mouvement du sujet - :



ISO : 100

Nombre d'ouverture : F/22

Temps d'exposition : 1/8 s

Mise au point sur le sujet

Annexe D - Illustrations de l'effet visuel du changement des réglages d'un appareil photo

Nous avons essayé dans ces images de rendre le plus évident possible pour un humain la variation sur l'image qui est obtenue en faisant varier chacun des paramètres de l'appareil photo.

Influence de la focale



Image 5 : Focale courte



Image 6 : Focale longue

Influence de la mise au point



Image 6 : Mise au point au premier plan



Image 7 Mise au point à l'arrière-plan

Nous avons pensé que les lignes au sol attirent l'attention du spectateur sur la profondeur, et aident donc à repérer la variation de l'éloignement de la zone floue.

Influence de l'ISO et du temps de pose

-Image sur trépied-



Image 8 : ISO 200/tps pose 5



Image 9 : ISO 200/tps de pose 20



Image 10 : ISO 800/tps de pose 20

-Image sans trépied-

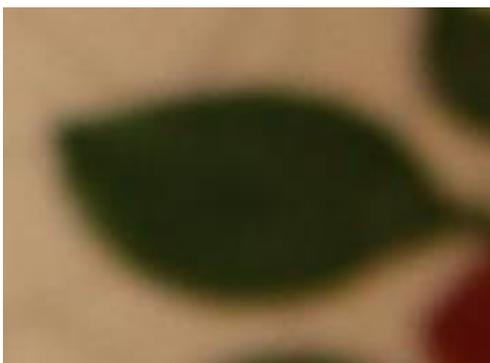


Image 11: ISO200/tps de pose 20

Afin de mettre en évidence l'effet de l'ISO et du temps de pose sur le rendu d'une image, nous avons photographié une tasse sous un même angle, avec la même focale, la même mise au point et la même ouverture, mais en faisant varier l'ISO et le temps de pose.

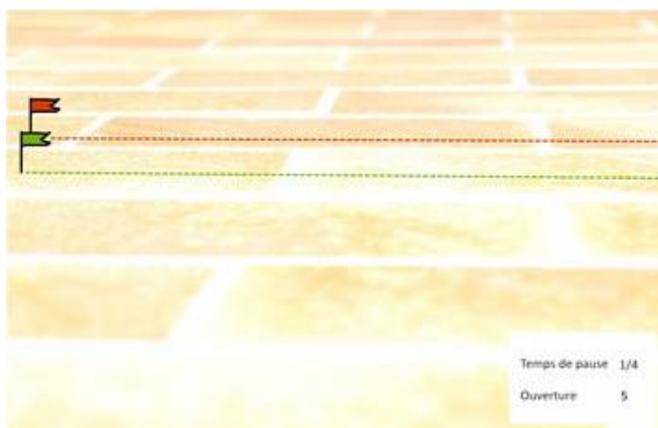
Pour mieux comparer leurs effets respectifs, nous avons fait en sorte d'éclaircir l'image

de départ du même facteur (4) grâce à l'ISO puis grâce au temps de pose. Les images prises avec trépied, et surtout les zooms qui en sont tirés (les images -feuille) permettent de voir les artefacts liés à un fort ISO (mais l'effet est très faible). Les images prises sans trépied quant à elles mettent en évidence le flou de bougé qu'il est dur d'éviter lorsque le temps de pose est long.

_ Influence du diaphragme _

- sur la profondeur de champ et l'éclaircissement -

Pour mettre en évidence l'influence de l'ouverture du diaphragme sur l'éclaircissement et sur la profondeur de champ, nous avons pris trois photos entre lesquelles les seuls paramètres qui varient sont l'ouverture du diaphragme et le temps de pose (qui n'influe que sur l'éclaircissement).





- sur le vignettage -

Pour mettre en évidence l'effet de vignettage, nous avons photographié deux fois un mur clair en nous stabilisant à l'aide d'un trépied ; la première image a été prise avec le diaphragme ouvert au maximum, et la seconde en le fermant le plus possible, tout en augmentant le temps de pose de sorte que les images soient pareillement éclairées en leur centre. Le résultat n'étant pas spectaculaire, nous avons utilisé la calculatrice raster de QGIS pour faire la différence entre les deux images (diaphragme ouvert - diaphragme fermé) et ainsi mieux visualiser le vignettage : voici le résultat :



Annexe E -Les différentes étapes de la fabrication d'une ortho-image avec MicMac

-Recherche des Potentiels Points de liaison :

Commande : mm3d Tapioca MulScale ".*JPG" 1500 3000

Dossier utile : « Pastis » qui contient les coordonnées des points homologues pour chaque couple d'image

-Orientation relative et Auto-Calibration :

Commande :mm3d Tapas RadialStd ".*JPG" Out=Ortho

Dossier utile : « Ori-Ortho » qui contient l'orientation de chaque cliché au format xml et une auto-calibration des clichés

-Saisie d'un masque pour faire le repère de l'ortho-image

Commande :mm3d SaisieMasqQT Image.JPG Attr=Ortho

Fichier utile :Image_MasqOrtho.tif etImage_MasqOrtho.xml

-Basculement du repère local sur le repère passant par le plan définie par le masque :

Commande :mm3d RepLocBascule ".*JPG" Ortho HOR Repere_Ortho.xml
PostPlan=_MasqOrtho

Dossier utile:PIMs-TmpBasc

-Préparation de la fabrication de l'ortho-image :

Commande :mm3d PIMs MicMac ".*JPG" Ortho

-Fabrications des différentes ortho-images :

Commande :mm3d PIMs2MNT MicMac DoOrtho=1 Repere=Repere_Ortho.xml Pat="*.JPG"

Dossier utile:PIMs_ORTHO

-Création de l'ortho-image globale en orthomosaïque :

Commande :mm3d Tawny PIMs-ORTHO/

Fichier utile:PIMs_ORTHO/Orthophotomosaic.tif

Création d'une ortho-image à partir du Plan défini par le masque (considéré comme la carte de profondeur) :

Commande :mm3d Tarama "*.JPG" Ortho Repere=Repere_Ortho.xml Out=OrthoImage
Zoom=4

Fichier utile : TA/TA_LeChantier.tif

Annexe F -Les différents types de points

Types de points et Utilité

