

DES NUAGES 3D ET DES IMAGES VERS UNE MAQUETTE NUMÉRIQUE

THÈSE DE BACHELOR

Terminé

A compléter, en chantier

Diplômant : Della Casa Bruno

Professeur responsable : Barras Vincent

Expert : Brahier Julien

Mandant : Bureau d'études ROSSIER SA, Maurer Nicolas

Date : 27 juin 2018



HAUTE ÉCOLE
D'INGÉNIERIE ET DE GESTION
DU CANTON DE VAUD
www.heig-vd.ch



Environnement construit
& Géoinformation

AVANT-PROPOS

Cette thèse de Bachelor (TB) a été écrite dans le cadre des cours d'ingénierie de la HEIG-VD du sixième semestre dans l'orientation géomatique et gestion du territoire. Elle se déroula sur une durée de 10 semaines allant du 22 mai au 27 juillet. Ce projet est effectué par un élève diplômant et est encadré par un professeur responsable.

Le thème de ce travail de Bachelor a été fourni par le « Bureau d'Etude Rossier SA » et sera évalué par le professeur responsable et un expert désigné.

Ce travail s'adresse aux professionnels de la géomatique.

Ce rapport est une partie des rendus du travail de Bachelor, ainsi que :

- Les diverses annexes
- Un CD-Rom des diverses pièces du TB
- Un poster de présentation du TB

RÉSUMÉ

Actuellement, il existe une multitude de méthodes pour obtenir un nuage 3D d'un bâtiment historique. Il est difficile de choisir quelle combinaison est la meilleure au niveau de sa précision et de son rendement.

Le but de ce travail est donc de définir un axe de conduite pour l'acquisition d'un nuage de points 3D en fonction des précisions voulues. Les traitements devront s'effectuer en fonction des programmes disponibles par le mandant. Il est également possible d'étudier d'autres programmes qui permettraient au mandant de voir les améliorations que cela apporterait au bureau.

TABLE DES MATIERES

1.	INTRODUCTION	1
1.1.	CAHIER DES CHARGES	1
1.2.	CHOIX DES LOGICIELS DE TRAITEMENT	1
1.3.	DÉFINITION DU BÂTIMENT TEST	1
2.	MATÉRIEL	2
2.1.	MS60	2
2.2.	SCANNER FARO FOCUS	3
2.3.	SCANNER LEICA P40	3
2.4.	SCANNER HÉRON	3
2.5.	CAMÉRA CANON EOS 5DS R	4
2.6.	CAMÉRA LADYBUG 360°	4
2.7.	DRONE PARROT BEBOP 2	4
3.	LOGICIEL	5
3.1.	3DRESHAPER	5
3.2.	AGISOFT PHOTOSCAN	5
3.3.	MicMAC	5
3.4.	PIX4D	5
3.5.	PYTHON	5
3.6.	HERON DESKTOP	5
3.7.	CYCLONE	5
3.8.	JRC 3D	5
3.9.	VIRTUSURV / AUTOCAD	5
4.	EXPLICATION DES ÉTAPES DE TERRAIN	6
4.1.	SÉPARATION DES ZONES DE TEST	6
4.2.	ÉGLISE	6
4.2.1.	Comparaison des acquisitions	7
4.2.1.1.	Photogrammétrie	7
4.2.1.2.	Scanner	8
4.3.	CLOCHER	8
5.	PRÉ-TRAITEMENT	9
5.1.	MS60	9
5.2.	SCANNER	9
5.3.	PHOTOGRAMMÉTRIE	9
5.3.1.	Canon EOS 5DS R	9
5.3.2.	Drone Bebop 2	10
5.3.3.	Ladybug 360°	10
6.	RÉFÉRENCEMENT DES NUAGES DE POINTS	10
6.1.	NUAGES DE CONTRÔLE ET DE RÉFÉRENCEMENT	10
6.2.	RÉFÉRENCEMENT VIA UN NUAGE RÉFÉRENCE	11
6.2.1.1.	Scanner	12
6.2.2.	Photogrammétrie	13
6.3.	RÉFÉRENCEMENT SUR DES CIBLES CONNUES	14
6.3.1.	Scanner	14
6.4.	PHOTOGRAMMÉTRIE	14

6.1.	COMPARAISON DES NUAGES	15
6.1.1.	Bruit du nuage.....	15
6.1.1.1.	Photogrammétries.....	17
6.1.1.2.	Scanner.....	19
6.1.1.3.	Récapitulatif du bruit.....	20
6.1.2.	Densité	21
6.1.3.	Aspect visuel.....	21
6.1.3.1.	Intérieurs	21
6.1.3.2.	Extérieurs.....	21
6.2.	COMPARAISON DES GÉORÉFÉRENCEMENT	21
6.2.1.	Qualité	21
6.2.2.	Photogrammétrie	21
6.2.3.	Nuage sur cible.....	23
6.2.4.	Nuage sur nuage.....	24
6.3.	CHOIX DE RÉFÉRENCEMENT	25
7.	COMPARAISON DE LOGICIEL	26
7.1.	PHOTOGRAMMÉTRIE	26
8.	OBTENTION D'UN NUAGE DANS UN MILIEU RESTREINT	26
8.1.	HÉRON	26
8.2.	FARO	28
8.3.	VIDÉO CANON EOS 5DS R	30
8.4.	COMPARAISON	30
9.	MÉTHODE DE RESTITUTION	30
9.1.	FAÇADE SUD	30
9.1.1.	Modélisation complète	31
9.1.1.1.	Agisoft	31
9.1.1.2.	3DReshaper	32
9.1.1.3.	VirtuSurv	33
9.1.1.4.	Comparaison	34
9.1.1.	Plan de façade.....	35
9.1.1.1.	Plan via une restitution	35
9.1.1.2.	Plan via orthophoto	36
9.1.1.3.	Plan via dessin sur plan.....	36
9.1.1.4.	Comparaison	36
9.1.1.	Modélisation simplifiée (2.5D)	37
9.2.	ARCHE DE L'ÉGLISE	37
9.2.1.	Texture sur maillage	37
9.2.2.	Photogrammétrie	38
10.	MÉTHODE D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENT OPTIMALE	38
11.	CONCLUSION	38
12.	ANNEXES	39
13.	BIBLIOGRAPHIE.....	39
14.	WEBOGRAPHIE	39

TABLE DES ILLUSTRATION

Figure 1 Situation du bâtiment test.....	1
Figure 2 Photo de l'église (annexe 6)	2
Figure 3 Carte des mesures effectuées.....	7
Figure 4 Schéma des stations Faro/MS60	9
Figure 5 Référencement de nuage-nuage	12
Figure 6 St8001 mis comme nuage de référence (set Home ScanWorld).....	12
Figure 7 Traitement de nuage-nuage dans cyclone.....	13
Figure 8 Résultat de le registration	13
Figure 9 Référencement sur cible	14
Figure 10 Problèmes mesures de damier sur cyclone.....	14
Figure 11 Restitution des damiers.....	15
Figure 12 Position des murs.....	16
Figure 13 Comparaison fictive.....	16
Figure 14 Bruit du MS60	17
Figure 15 Bruit du nuage photogrammétrique de MicMac	18
Figure 16 bruit nuage agisoft à l'extérieur	18
Figure 17 Bruit du nuage agisoft à l'intérieur	19
Figure 18 Bruit du nuage du scanner P40 à l'extérieur	20
Figure 19 Bruit du nuage du scanner Faro de l'extérieur	20
Figure 20 Comparaison scans MS60	21
Figure 21 Qualité du référencement photogrammétrique (Agisoft)	22
Figure 22 Qualité du référencement photogrammétrique (MicMac).....	22
Figure 23 Qualité du référencement sur cible (P40 à l'extérieur).....	23
Figure 24 Qualité du référencement sur cible (Faro à l'intérieur).....	23
Figure 25 Qualité du référencement sur nuage à l'intérieur.....	24
Figure 26 Qualité du référencement sur nuage à l'extérieur	25
Figure 27 Photos du clocher (escalier de l'entrée et l'intérieur du clocher).....	26
Figure 28 Trajets effectués au héron	27
Figure 29 Problématique du héron dans le clocher.....	27
Figure 30 Schéma de scan au héron.....	28
Figure 31 Exemple de sélection de 3 points communs entre 2 scans	28
Figure 32 Résultat final du référencement.....	29
Figure 33 Coupe du clocher effectué avec CloudCompare.....	29
Figure 34 Positions des points de restitution et levé au MS60	31
Figure 35 Représentation graphique des différences de coordonnées (annexe 3).....	31
Figure 36 Modélisation avec meilleures plans.....	32
Figure 37 Création de contour planaire avec 3DReshaper.....	32
Figure 38 Rééchantillonage de poyligne avec 3DReshaper	33
Figure 39 Erreur de contour sur l'angle de la fenêtre	33
Figure 40 Capture d'écran de la vision dans VirtuSurv.....	34
Figure 41 Schéma de restitution de scanner	34
Figure 42 Restitution des éléments de la façade	35
Figure 43 Schéma pour établir la comparaison de coordonnées de plan de façade	36
Figure 44 Comparaison des plans de façade par rapport aux mesures du MS60	37
Figure 45 Comparaison de la texturation	37

1. INTRODUCTION

1.1. CAHIER DES CHARGES

1.2. CHOIX DES LOGICIELS DE TRAITEMENT

Le mandant du TB étant le bureau d'étude Rossier SA, les logiciels utilisés seront principalement les logiciels dont ils ont la disponibilité. Il s'agit ainsi de Cyclone pour les traitements de nuage scanner, MicMac pour la photogrammétrie et 3DReshaper ou CloudCompare pour l'analyse des différents nuages.

D'autres logiciels disponibles à l'école pourront être testés afin de comparer les traitements et indiquer quels logiciels doivent obligatoirement être utilisés pour certains traitements, d'autres qui permettent de diminuer le temps de travail et d'autres qui pourraient ne rien apporter.

1.3. DÉFINITION DU BÂTIMENT TEST

Afin de pouvoir effectuer les divers tests, nous avons dû définir un secteur d'étude. Ce secteur a été défini en collaboration avec le mandant, « le bureau d'étude Rossier SA ». Il s'agit du bâtiment de l'église à Lavigny.

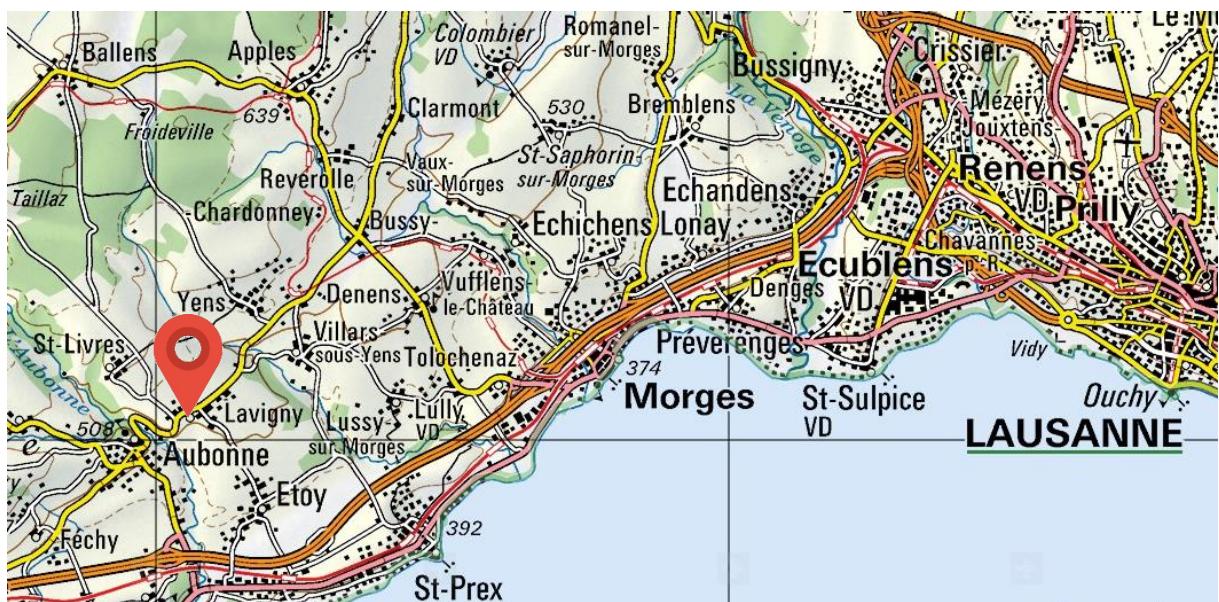


Figure 1 Situation du bâtiment test

L'église a une surface au sol de 232m². Elle comporte un appartement, une pièce de culte, une salle commune, un clocher et diverses autres pièces. Le clocher a une hauteur d'environ 23m.

Dans un premier temps, nous allons nous consacrer à faire des tests sur la partie de culte, le clocher et la façade extérieure au Sud-Est.



Figure 2 Photo de l'église (l'annexe 6 contient plus de photo)

La partie extérieur a une texture grainée tandis que l'intérieur de l'église est composé de mur blanc lisse.

2. MATÉRIEL

Pour effectuer les différents traitements, il nous a fallu faire des mesures sur le terrain. Les appareils utilisés lors de la prise de mesure sont :

- Station totale Leica MS60
- Scanner Faro Focus
- Scanner Leica P40
- Scanner Héron
- Caméra Canon EOS 5DS R avec 2 objectifs (14mm et 28mm)
- Caméra Ladybug 360°
- Drone Parrot Bebop 2

2.1. MS60

Cet appareil permet de référencer les points de base du calage des nuages et de donné une valeur doit à des parties de l'église qui serviront comme contrôle. C'est une station totale qui permet également de faire du scanner. Par contre, la durée de scanner est beaucoup plus longue car il mesure 1000 points par seconde.



2.2. SCANNER FARO FOCUS

C'est un scanner qui est facilement mis en station. Il permet ainsi de faire une multitude de station en très peu de temps. Le désavantage est que le scan se fait sur des distances moins grandes que d'autres scanners. Il mesure 976'000 points par seconde.



2.3. SCANNER LEICA P40

Gros scanner qui permet d'obtenir un nuage dense sur une durée de temps faibles. Par contre, la mise en station est plus longue que pour un scanner Faro et il est compliqué à mettre en station dans des espaces réduits. Il mesure 1 million de points par seconde avec une portée jusqu'à 270m.



2.4. SCANNER HÉRON

Scanner mobile, il permet de scanner des zones tout en se déplacement. Il est très rapide d'utilisation mais sa précision en est réduite. Il faut également savoir que le héron ne scanne pas le haut et pas le bas. Cette caractéristique posera problème lors d'un traitement expliqué au chapitre 8.1.



2.5. CAMÉRA CANON EOS 5DS R

C'est un appareil photo reflex de 50.6 mégapixel. Il permet de faire de la photogrammétrie de grande résolution.



2.6. CAMÉRA LADYBUG 360°

Ensemble de caméra fixée sur une canne qui permet d'obtenir des images sur 360°. Elle doit être en continu fournie en électricité et est commandée depuis un ordinateur via une câble USB. Elle est composée de 6 caméras de 5 megapixels. Cette appareil permet de sortir plusieurs sortes d'images. « La meilleure combinaison testée pour l'utilisation de la Ladybug en photogrammétrie terrestre est le calcul sur Agisoft avec les images non-rectifiée type fish-eye. » (BROCH, 2018, p. 11)



2.7. DRONE PARROT BEBOP 2

Drone télécommandé qui permet d'obtenir des images aériennes de type Fish-Eye. Il se pilote soit à l'aide d'une télécommande soit via une application mobile. L'application mobile Pix4DCapture permet d'indiquer à partir de quel déplacement le drone doit prendre une photo. C'est l'application qui a été choisie pour l'acquisition des données.



3. LOGICIEL

3.1. 3DRESHAPER

3DReshaper est un logiciel 3D. Il permet ainsi de faire des traitements de nuage, de la modélisation, des comparaisons et diverses autres manipulations. La version utilisée est la 17.0.24386.0.

3.2. AGISOFT PHOTOSCAN

Logiciel permettant de faire de calcul de photogrammétrie. La version utilisée est la 1.4.2.

3.3. MicMAC

3.4. Pix4D

3.5. PYTHON

3.6. HERON DESKTOP

3.7. CYCLONE

3.8. JRC 3D

3.9. VIRTUSURV / AUTOCAD

4. EXPLICATION DES ÉTAPES DE TERRAIN

4.1. SÉPARATION DES ZONES DE TEST

Les tests seront séparés en 2 secteurs :

- L'église
- Le clocher

L'église servira de test des méthodes de traitement des mesures en manipulant de la photogrammétrie, différents scanners et en manipulant différentes méthodes de référencement. Pour le secteur de l'église seul l'intérieur et la façade sud seront mesurées.

Le deuxième secteur « clocher » où le but est de pouvoir avoir un nuage dans un milieu confiné et difficile d'accès. Les possibilités sont ainsi réduites car l'espace est faible et il est difficile de faire des stations. Dans ce secteur, nous avons essayé 3 méthodes :

- Héron : scanner mobile permettant de se déplacer tout en scannant
- Faro : petit scanner pouvant être placé facilement dans de petit endroit et pouvant scanner de manière inclinée
- Vidéo : faire de la photogrammétrie sur la base d'une vidéo prise au CANON EOS.

4.2. ÉGLISE

Une polygonale fermée au MS60 permet de lever les différentes cibles utiles pour le référencement des nuages. Depuis le station 8001, 8002, 8003 et 8004 des scans ont été effectués sur les façades de l'église.

Deux stations P40 permettent d'obtenir un nuage dense de l'extérieur de l'église. Les 5 stations Faro permettront de faire un nuage de points de l'intérieur et l'extérieur de l'église.

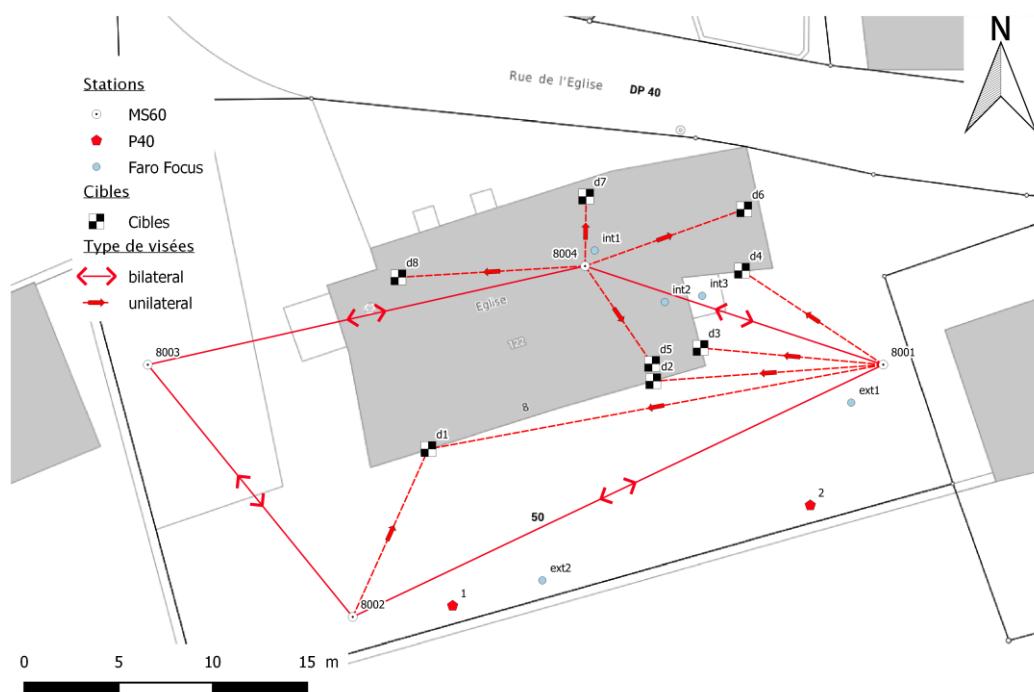


Figure 3 Carte des mesures effectuées

Pour le secteur de l'église, 3 séries de photos ont été prises. La première série fut prise au Canon EOS 5DS R en testant une liaison intérieur extérieur. La deuxième prise est, comme pour la première à l'extérieur et à l'intérieur, mais établie avec la caméra Ladybug 360°. Quant à la dernière prise, il s'agit d'un vol extérieur au drone pour voir son apport sur la modélisation avec la toiture.

4.2.1. Comparaison des acquisitions

4.2.1.1. Photogrammétrie

L'acquisition est rapide et ne demande pas de grande mise en place d'élément. Le plus grand risque est la liaison intérieur-extérieur et le soleil en fonction des contre-jours. Il faut faire attention à prendre assez de photos pour permettre les liaisons entre les photos.

Des points de calage doivent obligatoirement être vus dans les photos afin de définir un facteur d'échelle à nos photos.

Canon EOS 5DS R

En moins de 40 minutes, l'ensemble des photos ont été prises à l'intérieur et l'extérieur en comptant le changement d'objectif. Si les photos sont prises seulement à l'extérieur, il suffirait de 15 minutes pour les prendre.

Drone Bebop 2

Il suffit de 20 minutes pour prendre l'ensemble des photos. La contrainte pour ce drone est la météo. S'il y a trop de vent, il est impossible de le faire voler. L'autre contrainte est le pilotage du drone dans un milieu urbain avec divers éléments en hauteur (arbres, ...)

Ladybug

La mise en place de la Ladybug est la plus grande contrainte de l'acquisition. Il faut ainsi trouver une prise électrique et avoir une rallonge. Il faut également avoir un ordinateur qu'il faut déplacer avec la Ladybug.

La prise de photo a duré environ 10 minutes mais au totale, avec la mise en place, cela a pris 25 minutes.

4.2.1.2. Scanner

Le temps d'acquisition des scanners dépend du paramétrage des appareils et de sa rapidité de mesure de points

Faro

Un station Faro prend 11minutes avec les paramètres effectués pour cette partie de terrain (Qualité : 4x / densité : 1 pts tous les 6mm à 10m / Colorisation du nuage). 5 stations sont effectuées, il faut alors environ 1h pour faire l'entier de l'acquisition. Si on s'occupe seulement de l'extérieur, il suffit de 25 minutes.

P40

Avec un densité d'environ 1 pts tous les 3mm à 10, le temps de station est de

4.3.CLOCHER

Pour le clocher, nous avons fait une polygonale aller-retour au MS60 (points 8003, 8005, 8006 et 8007) dans la première partie du clocher. Sur la station 8007, un petit secteur a été scanner afin d'avoir un contrôle du résultat obtenu dans la montée des escaliers. Les trépieds des stations MS60 ont été laissés en place pour permettre de positionner des scans de Faro. Cela permettra ainsi de référencer les nuages Faro du clocher par rapport au reste du projet vu qu'on connaît la position de 4 stations.

A l'intérieur du clocher, nous avons fait 6 autres stations Faro.

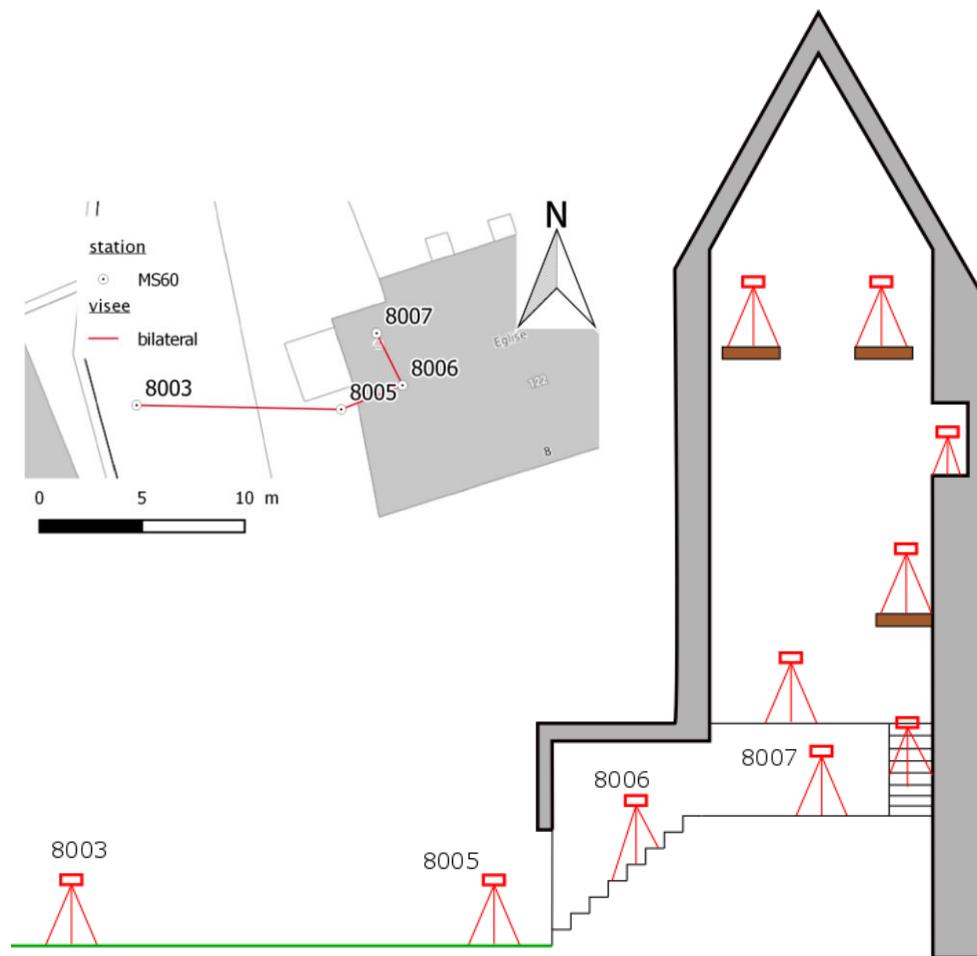


Figure 4 Schéma des stations Faro/MS60

Un scanner mobile a été utilisé depuis l'extérieur jusqu'en haut de du clocher.

Plusieurs vidéos au Canon ont également été prises.

5. PRÉ-TRAITEMENT

5.1. MS60

Un traitement LTOP de la polygonale a été fait afin de bien définir les points de base et que la précision des nuages soit le moins impacté par la qualité des points de base. Les positions des stations ont alors été modifiées dans Infinity pour changer la position des points levés et des scans effectués. Ainsi toutes les données sorties du MS60 sont déjà référencés.

5.2. SCANNER

Pour les scanners, il n'y a pas eu de traitement à effectuer avant le référencement des nuages de points. Les nuages de points sont déjà à l'échelle.

5.3. PHOTOGRAMMÉTRIE

5.3.1. Canon EOS 5DS R

Nous avons calculé l'entier de l'aérotriangulation avec les 2 focales (14mm et 28mm). Pour le logiciel MicMac, les calculs se font en ligne de commande. Afin d'optimiser l'écriture des lignes de

commande, un script permet de créer un fichier batch qui contient les diverses commandes que l'utilisateur a décidé d'utiliser. Un explicatif d'utilisation et le script se trouve dans l'annexe 1.

Une calibration par objectifs est ainsi calculée pour permettre un bon résultat de l'aérotriangulation. Les images sont alors positionnées entre elles en relatif.

5.3.2. Drone Bebop 2

Les images de sortie du drone sont des images de type FishEye. MicMac n'arrive pas à calculer la calibration. Malgré plusieurs tests effectués en rognant les images ou en prenant d'autres jeux de photo, il a été impossible d'en calculer une calibration.

Un traitement de ses images sur 2 autres logiciels (Pix4D et Agisoft PhotoScan) a été fait. Il en est ressorti que seul le programme Pix4D permet de traiter ses images. C'est donc le type des images qui pose problème. Avec un autre type de drone, il serait donc possible de faire de la photogrammétrie aérienne avec les 2 autres programmes.

5.3.3. Ladybug 360°

Comme précédemment, il a été impossible de calculer une calibration pour ces appareils avec MicMac. Au contraire du drone, le meilleur logiciel entre Pix4D et Agisoft est Agisoft (BROCH, 2018, p. 11).

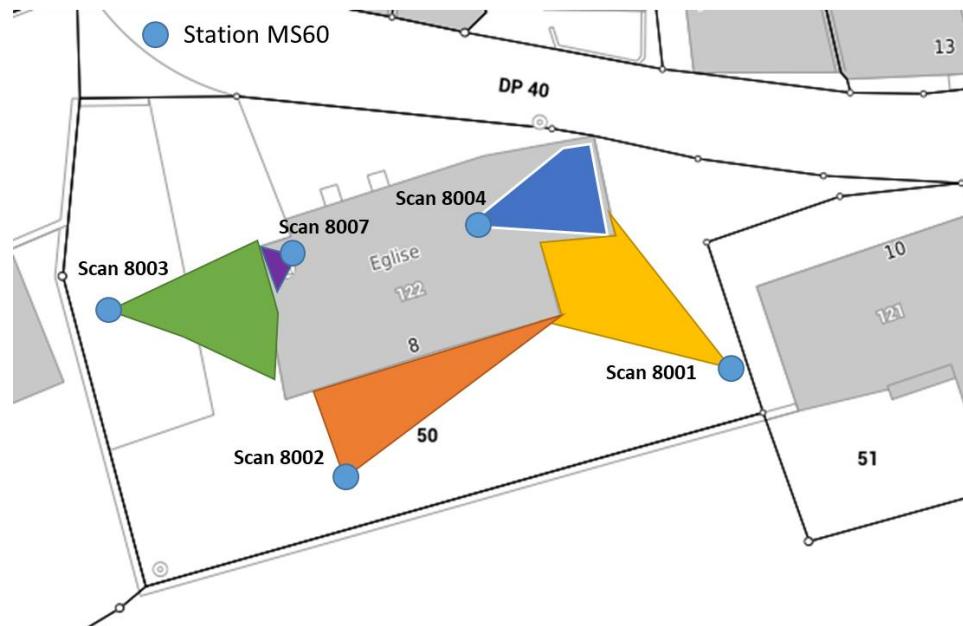
Pour le référencement vu dans la suite du rapport, la qualité de sélection des damiers n'est pas bonne. Il n'y a pas assez de recouplement car il n'y a pas eu assez de photos qui ont été prises. Pour régler ce problème et ne pas avoir besoin de retourner sur le terrain, une aérotriangulation a été faite avec les photos CANON et Ladybug. Ensuite, le référencement a été effectué et le nuage de points denses a été calculé seulement avec la Ladybug.

6. RÉFÉRENCEMENT DES NUAGES DE POINTS

Dans cette partie, nous allons traiter le référencement des nuages et sa qualité. Les résultats des calculs de référencement se trouvent dans l'annexe n°2.

6.1. NUAGES DE CONTRÔLE ET DE RÉFÉRENCEMENT

Sur le terrain, 5 stations de MS60 ont levé des scans de secteur de l'église. Ces scans serviront soit de base pour le calage des nuages, soit de contrôle du bon référencement.



SCAN 8001 :

Ce scan servira de référencement pour les différents nuages traités. Il contient un angle et une grande façade ce qui permettrait de bien référencer le nuage.

SCAN 8002 :

Il servira de contrôle extérieur du bon référencement. Il est assez éloigné du scan 8001 ce qui permettrait de contrôler un référencement en extrapolation du nuage-nuage.

SCAN 8003 :

Ce Scan servira à positionner le nuage de points photogrammétrique effectué dans le clocher.

SCAN 8004 :

Il servira de contrôle intérieur du bon référencement.

SCAN 8007 :

Il servira de contrôle à l'intérieur du clocher du référencement. Il peut également en cas de problème dans le traitement des nuages servir de référence pour les nuages Faro.

6.2. RÉFÉRENCEMENT VIA UN NUAGE RÉFÉRENCE

Ce traitement consiste à effectuer le référencement d'un bloc de nuages sur un déjà référencé.

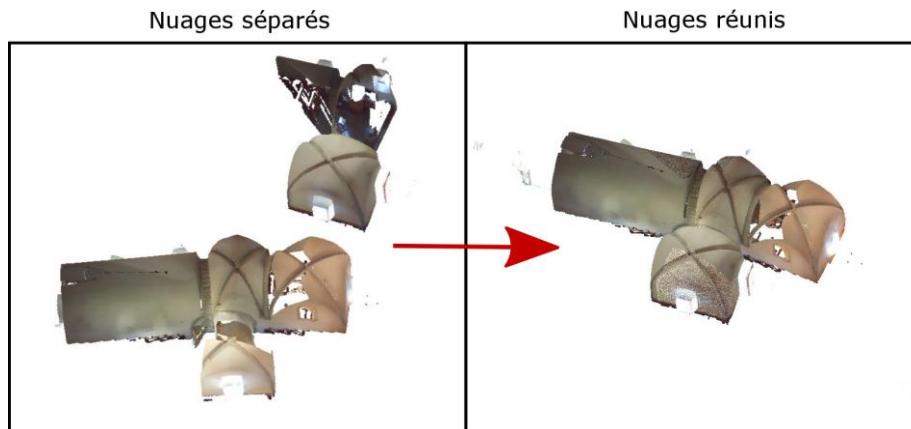


Figure 5 Référencement de nuage-nuage

Pour le calcul du référencement, Cyclone a été utilisé. Il existe d'autres programmes tels que JRC3D. La justification de l'utilisation de Cyclone est, comme indiqué précédemment, sa disponibilité par le mandant.

6.2.1.1. Scanner

Le référencement Faro et Cyclone s'est fait de la même manière. Il sera donc expliqué que pour le Faro. Une database est donc créée pour contenir notre projet. Les différents nuages du Faro sont importés dans le projet. Le scan depuis la station 8001 au MS60 est également importé. Ce scan servira de base de référence pour les différents autres scans.

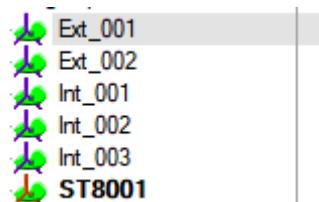


Figure 6 St8001 mis comme nuage de référence (set Home ScanWorld dans cyclone)

Une registration est créée. Elle contiendra les calculs et les paramètres de transformations des nuages. Il suffit alors de choisir les nuages qui ont un lien entre eux et de les placer approximativement au même endroit. Une optimisation de l'alignement des nuages peut alors se faire pour placer de manière mathématique les nuages entre eux.

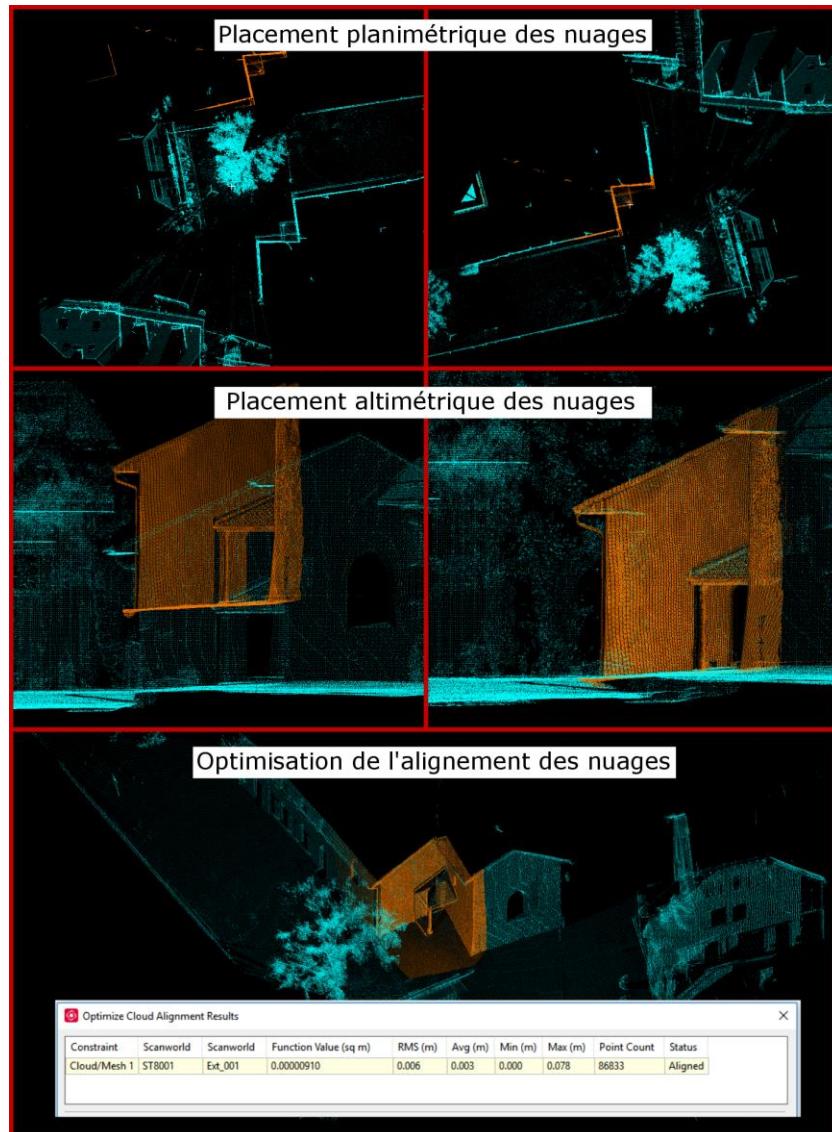


Figure 7 Traitement de nuage-nuage dans cyclone

Lorsque tous les nuages sont placés avec leurs nuages respectifs, un calcul global de référencement peut être fait. Il en résulte des vecteurs d'erreur.

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector	Group Error	Group Error Vector	Group
Cloud/Mesh... Ext_001	Ext_002	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.013 m]	0.000 m	aligned [0.013 m]	Group 1	
Cloud/Mesh... Ext_001	Int_003	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.009 m]	0.000 m	aligned [0.009 m]	Group 1	
Cloud/Mesh... Int_002	Int_001	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.009 m]	0.000 m	aligned [0.009 m]	Group 1	
Cloud/Mesh... Int_003	Int_002	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.010 m]	0.011 m	aligned [0.010 m]	Group 1	
Cloud/Mesh... Int_003	ST8001	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.001 m	aligned [0.007 m]	n/a	aligned [0.007 m]	Group 1	
Cloud/Mesh... ST8001	Ext_001	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.006 m]	3.889 m	aligned [0.006 m]	Group 1	

Figure 8 Résultat de la registration

6.2.2. Photogrammétrie

Après le positionnement local des images, l'échelle du nuage n'est pas métrique. Il faut d'abord lui faire un facteur d'échelle en sélectionnant dans les images une distance qui servirait de base au facteur.

Nous pouvons ensuite effectuer comme pour le scanner un référencement via nuage à nuage. Par contre, vu que le nuage n'est pas vertical, il faut dans cyclone trouver des points approximatifs

entre les 2 nuages. Si JRC3D est utilisé, il n'y a pas besoin de faire cette manipulation car il accepte que le nuage ne soit pas vertical pour calculer le référencement du nuage.

6.3. RÉFÉRENCEMENT SUR DES CIBLES CONNUES

Cette étape consiste à référencer les différents nuages à l'aide de cible connue en coordonnées. Le référencement des nuages se fait alors de la même manière que pour un levé depuis une station totale. Dans Cyclone, le traitement permet également d'avoir des points de liaisons entre les scanners. Les points de liaison sont des points qui sont vu dans plusieurs scanner.

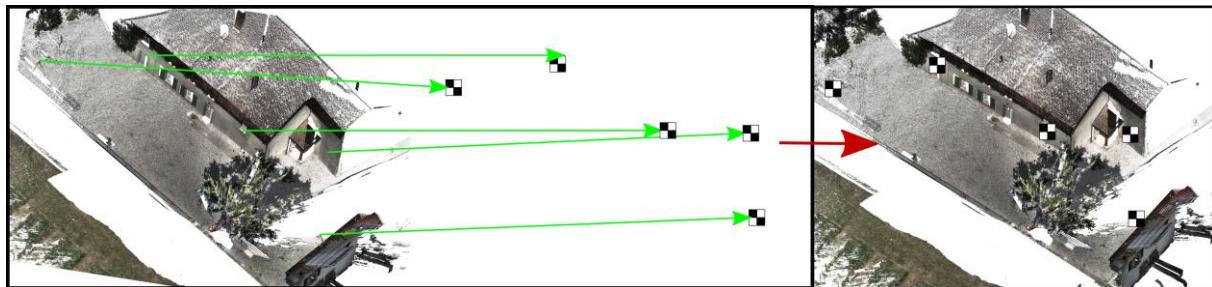


Figure 9 Référencement sur cible

6.3.1. Scanner

Le traitement a été fait dans le logiciel Cyclone comme pour le référencement via nuage-nuage. Et dans ce rapport, seul le référencement sur les scans P40 seront expliqués. La démarche pour les scans Faro est la même.

Après avoir chargé les scans, il faut lui indiquer la position des cibles en damier si cela n'a pas déjà été fait sur le terrain. Cyclone permet de détecter le centre des cibles en damier en cliquant approximativement sur les cibles. Il est possible qu'il détecte mal le centre si les murs derrière les cibles sont blancs ou noirs, comme illustré ci-dessous. L'une des solutions pour éviter ce genre de problème serait de scotcher une feuille verte derrière le damier.



Figure 10 Problèmes mesures de damier sur cyclone

Suite à l'import des points de référence, le calcul peut être fait en effectuant une transformation de coordonnées entre les points sélectionnés dans le nuage vers les points de référence importé.

6.4. PHOTOGRAMMÉTRIE

Comme pour les scanners, nous devons indiquer la position des damiers. La différence est que nous devons l'indiquer dans plusieurs photos afin d'avoir un recouvrement qui permet d'obtenir les coordonnées locales du damier. Il s'agit ensuite de transformer vers le système de coordonnées nos photos. La différence des scanners et que le point restitué sont alors pris en compte dans la compensation du calcul de l'aérotriangulation. Donc, ses différents points saisis peuvent influencer le nuage de points denses qui dépend de la position des photos. La position des damiers se fait actuellement manuellement dans les photos avec le programme de MicMac.



Figure 11 Restitution des damiers

Il existe actuellement un bug dans le logiciel de MicMac qui se fait lors de la sélection des points de calage, les pixels enregistrés ne sont pas les bons. Cela induit une erreur dans le calcul de positionnement des photos. Il n'y avait pas ses erreurs sur d'autres jeux de photos. En effectuant des tests, le bug existe seulement sur les photos de grande taille (8688x5792). En rognant les images, la saisie du pixel dans les images est juste avec une image de 6048x5792. Le traitement a été complètement répété en réduisant la taille des images.

Un traitement complet avec Agisoft a également été fait pour comparer les résultats.

6.1. COMPARAISON DES NUAGES

Dans la comparaison des différents nuages, nous allons traiter le bruit du nuage, la densité du nuage et sa couleur.

6.1.1. Bruit du nuage

Pour comparer le bruit de mesure, un maillage a été dessiné sur un mur de l'église avec le nuage du MS60 à l'intérieur et à l'extérieur. Il n'y a malheureusement pas de mur plat qui permettent d'obtenir un nuage propre en photogrammétrie. Une projection du nuage est alors faite sur le maillage. On peut alors en déduire le bruit en fonction de l'échelle de la projection. Si le maillage qui définit le mur est faux, cela se verra dans la comparaison car tous les nuages devraient avoir

la même différence au même endroit. Si ce n'est pas le cas, cela veut dire qu'il s'agit de bruit de mesure.



Figure 12 Position des murs

Sur la figure 14, le nuage du MS60 a été projeté sur le maillage. Le bruit est faible mais cela est normal vu que le maillage a été déduit de ce nuage. Par contre, dans la comparaison du bruit, il faut également tenir compte du fait que le référencement pourrait avoir une influence sur les couleurs sur le maillage. Il faut alors ne pas prendre en compte les couleurs mais les différences locales des couleurs. Sur le schéma ci-joint d'une comparaison fictive, nous pouvons voir qu'il y a une grande différence entre le nuage et le maillage mais que localement il n'y a pas de changement brutale de couleur. Il s'agirait donc d'un problème de référencement.

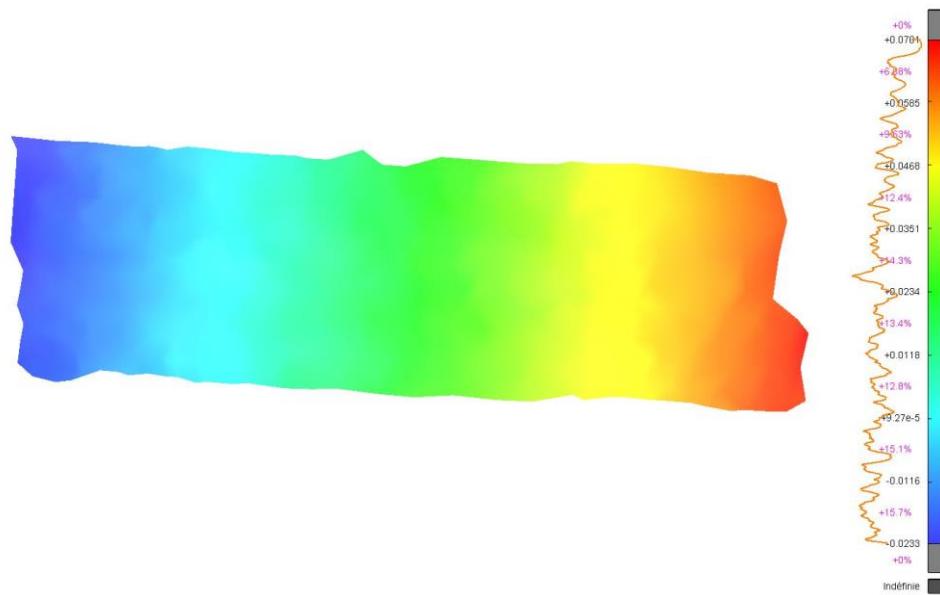


Figure 13 Comparaison fictive

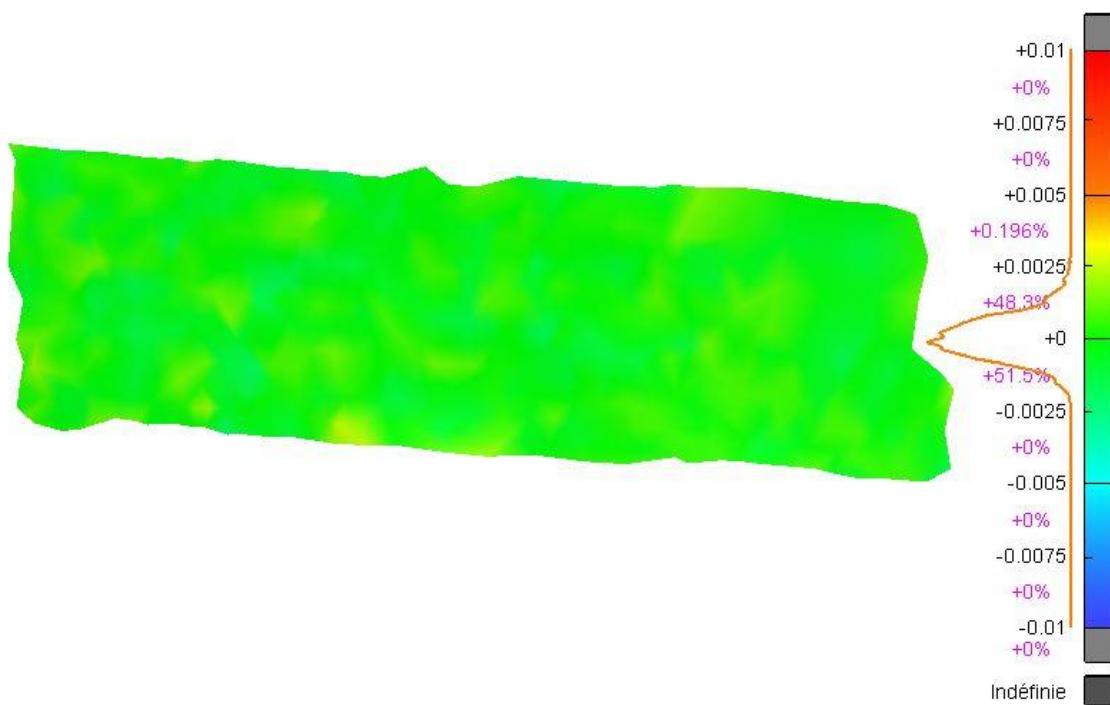


Figure 14 Bruit du MS60

Le bruit est testé sur un surface murale et n'est pas testée sur d'autres textures tels que des vitres où le bruit est plus important.

6.1.1.1. Photogrammétries

CANON EOS 5DS R

Pour l'extérieur, le nuage de MicMac a peu de bruit. Nous pouvons voir que les points se balade entre 7mm et -9mm. Ici, il est possible d'indiquer qu'il y a déjà un problème de référencement du nuage vu que la comparaison va du bleu au rouge. Par contre, le nuage est quand même bruité car il y a des différences locales. Il n'y a malheureusement pas eu de comparaison à l'intérieur car le nuage étant très peu dense vu la texture des murs.

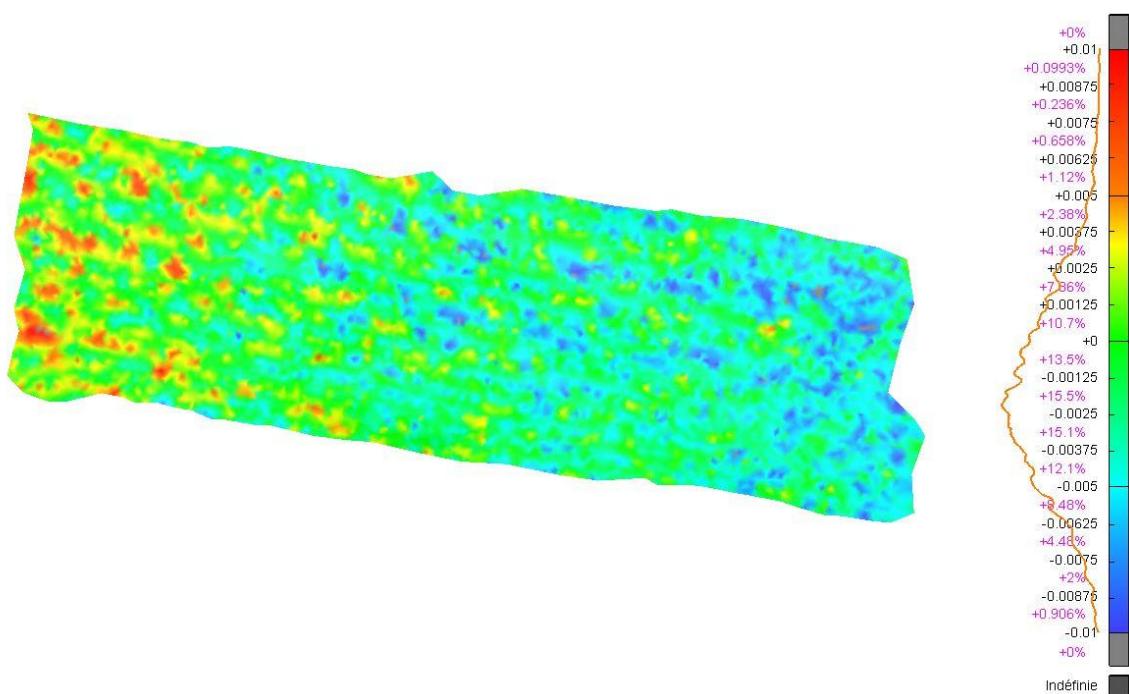


Figure 15 Bruit du nuage photogrammétrique de MicMac

Avec le programme de Agisoft, le nuage intérieur est dense mais il est bruité. Pour l'extérieur, nous pouvons voir qu'il est peu bruité. Le bruit est situé autour de 3mm avec quelques points très bruité à 1cm.

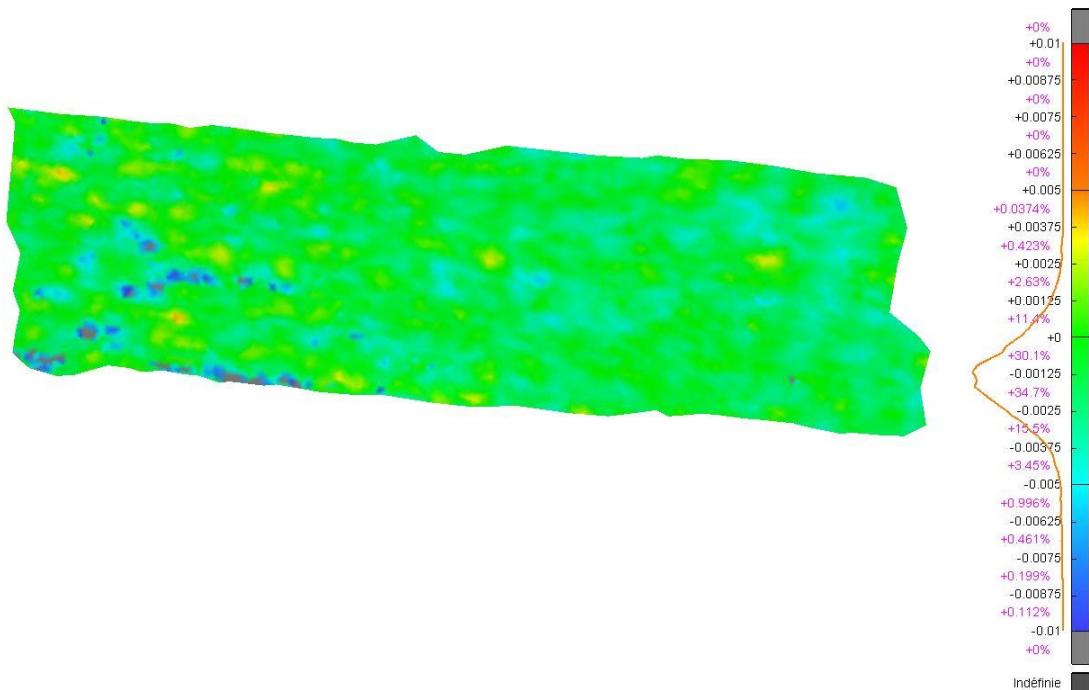


Figure 16 bruit nuage agisoft à l'extérieur

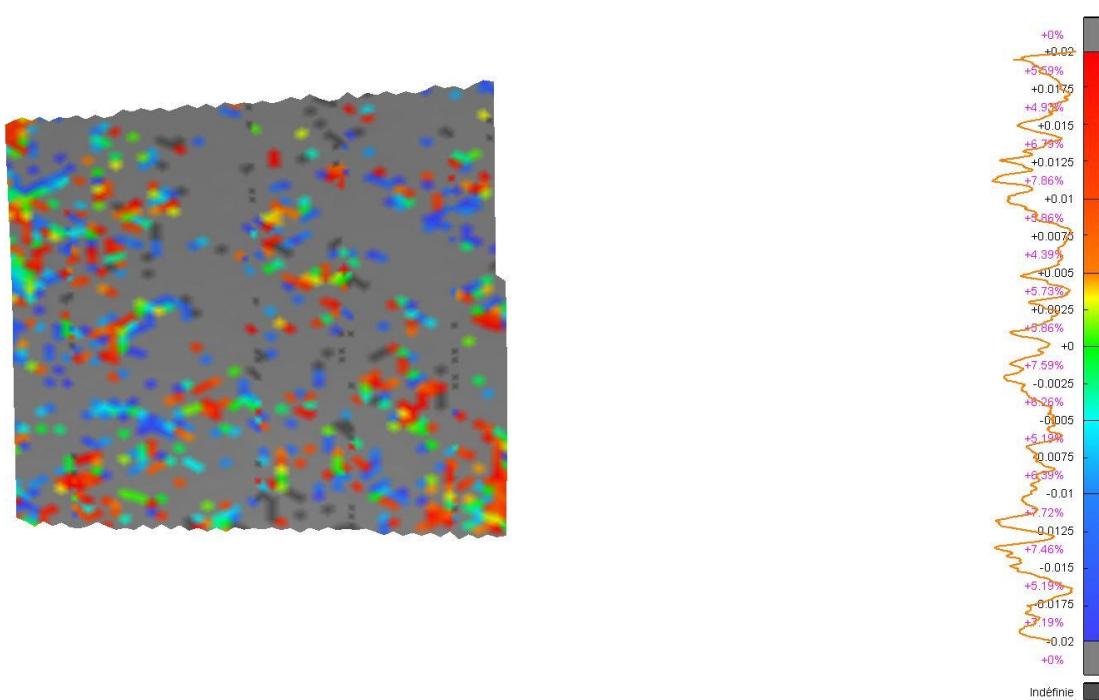


Figure 17 Bruit du nuage agisoft à l'intérieur

→Faire test avec Pix4D

LADYBUG

BEBOP 2

6.1.1.2. Scanner

Pour les scanner, le bruit sera testé uniquement en extérieur. Il n'y a pas de changement de bruit entre la partie intérieur et extérieur au contraire de la photogrammétrie. Au scanner la texture (lisse-grainée) ne modifie pas la qualité du nuage vu que le nuage se fait via un levé direct (distance-angle) et pas avec la couleur des pixels d'une photo. Pour les 2 scanners, le bruit se situe autour de 2-3mm. Le scanner Faro est légèrement moins bruité. Nous pouvons voir que la position du bruit est souvent au même endroit entre les 3 scans (MS60, P40 et Faro). La comparaison du Faro est quasiment similaire à la comparaison du MS60 sur le maillage Vu qu'ils sont du même ordre que celui du MS60, nous pouvons dire que le bruit est très faible.

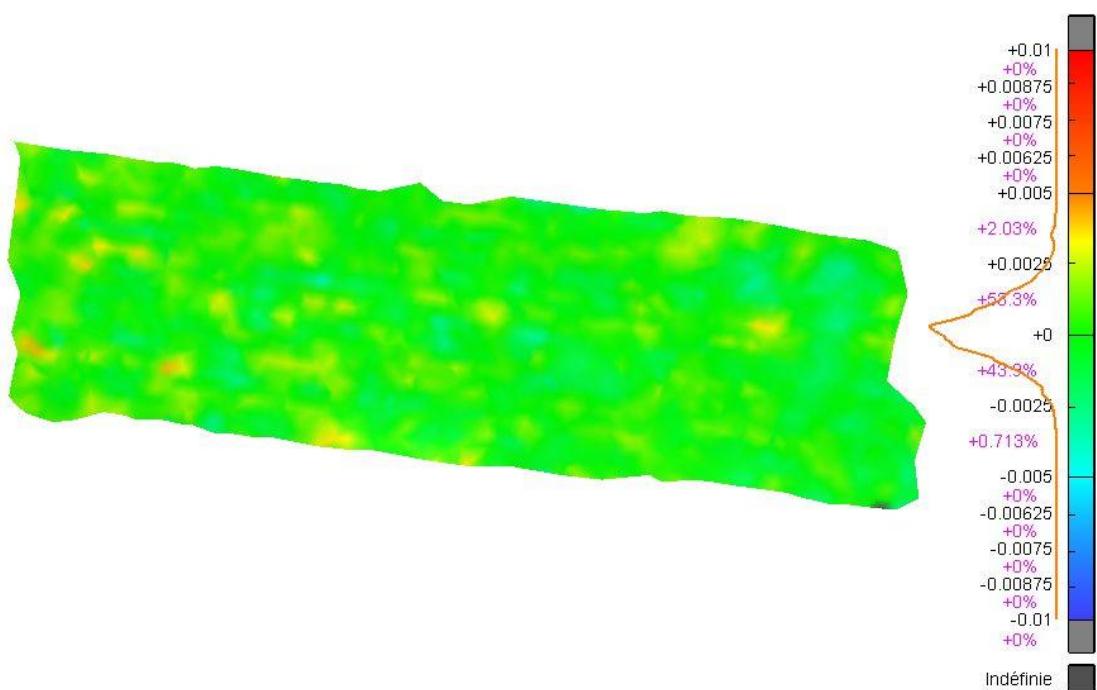


Figure 18 Bruit du nuage du scanner P40 à l'extérieur

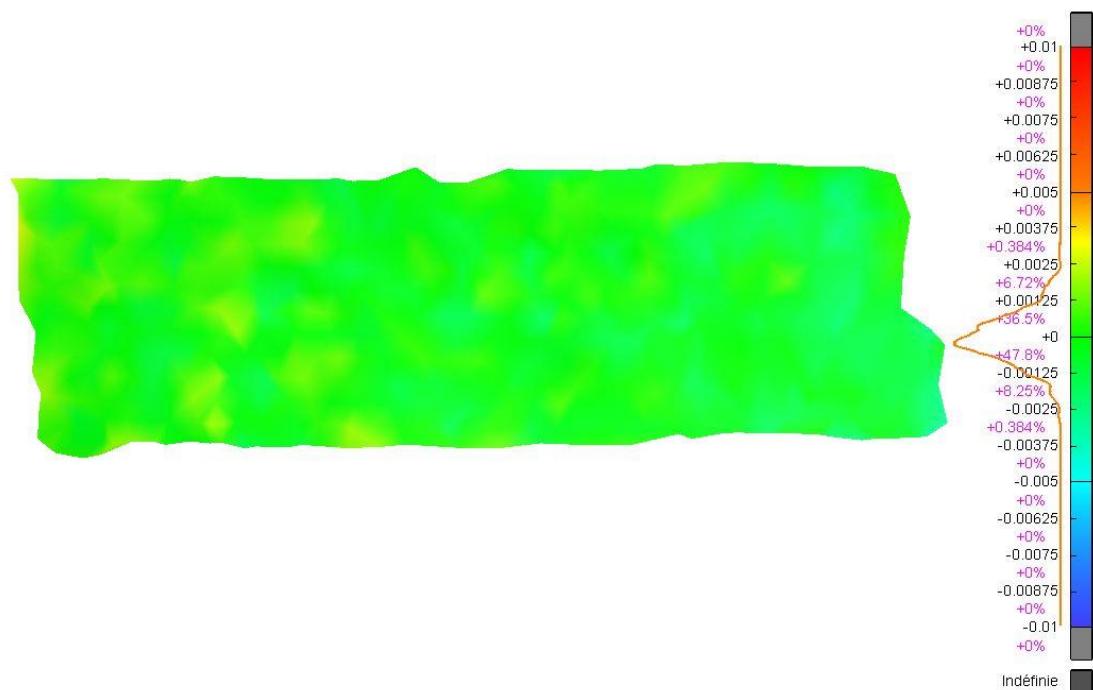


Figure 19 Bruit du nuage du scanner Faro de l'extérieur

6.1.1.3. Récapitulatif du bruit

Pour tous les types de mesures, le bruit est faible à l'extérieur. Il est par contre plus important à l'intérieur pour la photogrammétrie. Les nuages scanners sont moins bruité et plus homogène.

6.1.2. Densité

6.1.3. Aspect visuel

6.1.3.1. Intérieurs

Comme montrer précédemment les nuages photogrammétriques à l'intérieur sont très bruités (Agisoft) voir quasiment inexistant (MicMac).

6.1.3.2. Extérieurs

Pour l'extérieur, les nuages sont très proches les uns des autres. La différence entre les nuages scanners sont inexistant. Par contre, entre les nuages photogrammétriques et les nuages scanners, il existe quelque différence.

6.2. COMPARAISON DES GÉORÉFÉRENCEMENT

6.2.1. Qualité

Pour assurer la qualité du positionnement des scans, j'ai comparé les 2 scans extérieurs du MS60. Le pic de la différence entre les deux scans est à 0mm et l'erreur se situe environ à 3mm. Nous pouvons donc déduire que la position des scans est juste et que la qualité des scans est largement suffisante pour l'estimer en tant que valeur doit. Les autres scans seront alors comparés au scan du MS60.

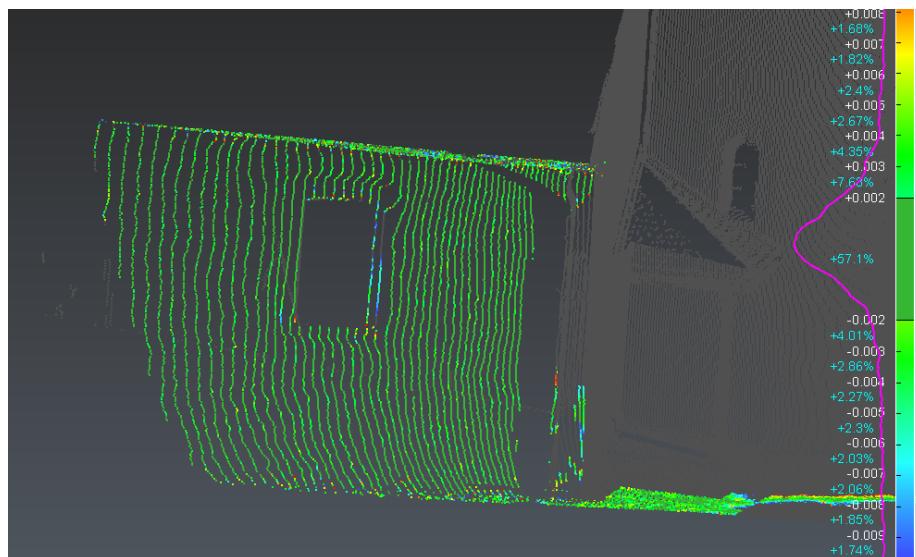


Figure 20 Comparaison scans MS60

6.2.2. Photogrammétrie

Pour le référencement avec la photogrammétrie, cela a été effectué dans 2 programmes (Agisoft et PhotoScan [voir si j'ai le temps de faire avec Pix4D]). Pour les 2 cas, une erreur de l'ordre de centimètre est trouvée. L'impression est que si on appliquait une petite rotation au nuage, cette erreur n'existerais plus. Cette erreur est plus grande avec MicMac. Il serait intéressant de comprendre d'où cela vient. Il est également possible que cette erreur ne dépende pas du référencement mais de la création du nuage de points denses qui fait des décalages ou bien de l'aérotriangulation qui ne représente pas les vraies coordonnées des prises de photo.

Dans tous les cas, le nuage de points denses n'est pas juste par rapport au nuage du MS60.

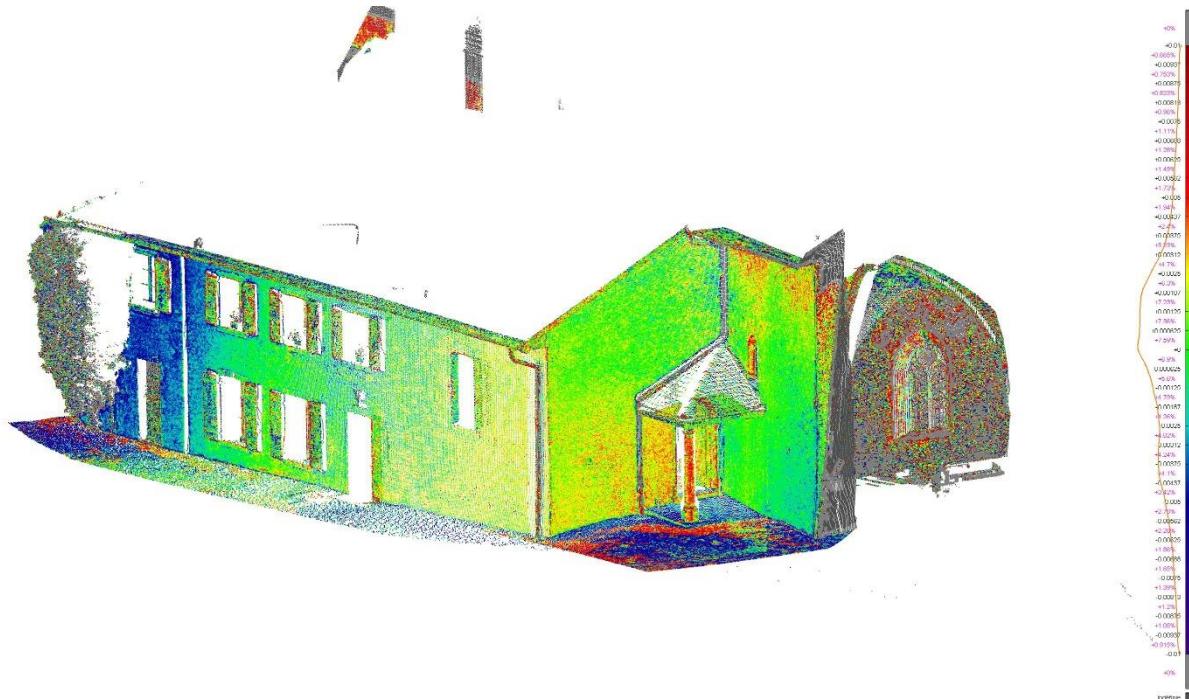


Figure 21 Qualité du référencement photogrammétrique (Agisoft)

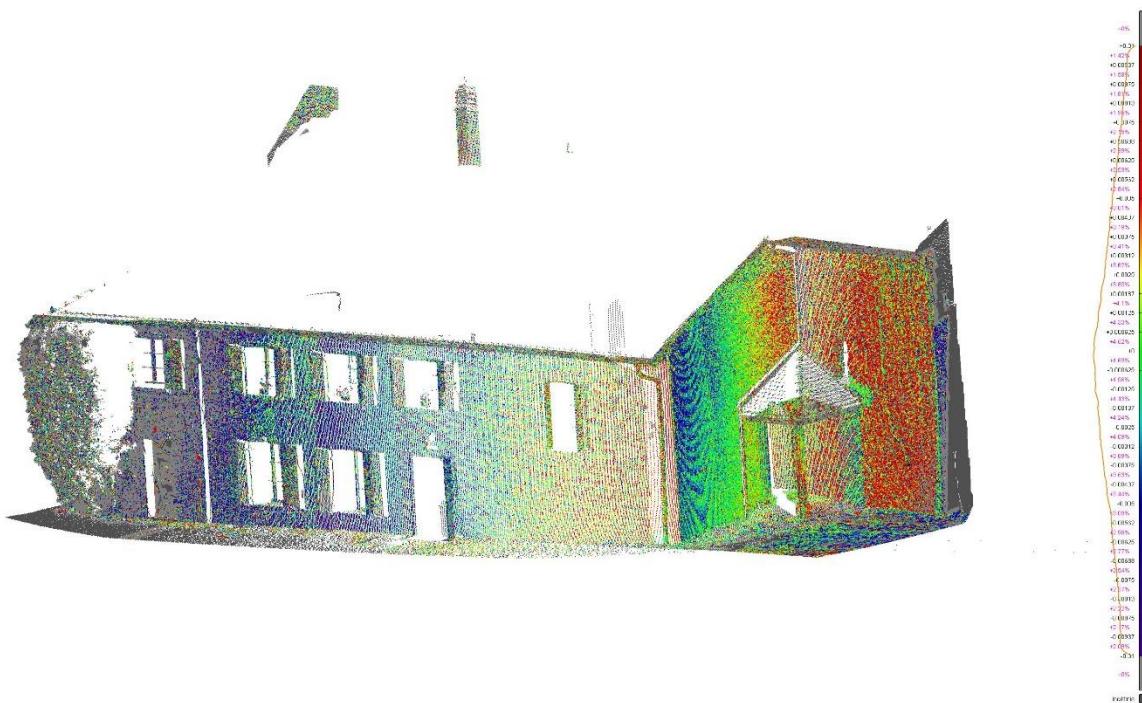


Figure 22 Qualité du référencement photogrammétrique (MicMac)

En prenant en compte les diverses analyses sur le bruit et sur l'analyse graphique de la restitution (chapitre 9.1.1), le problème vient sûrement d'une mauvaise définition des coordonnées des cibles dans les images.

Un test pour le confirmer serait de recaler ce nuage sur les nuages MS60.

Faire référencement nuage-nuage →

6.2.3. Nuage sur cible

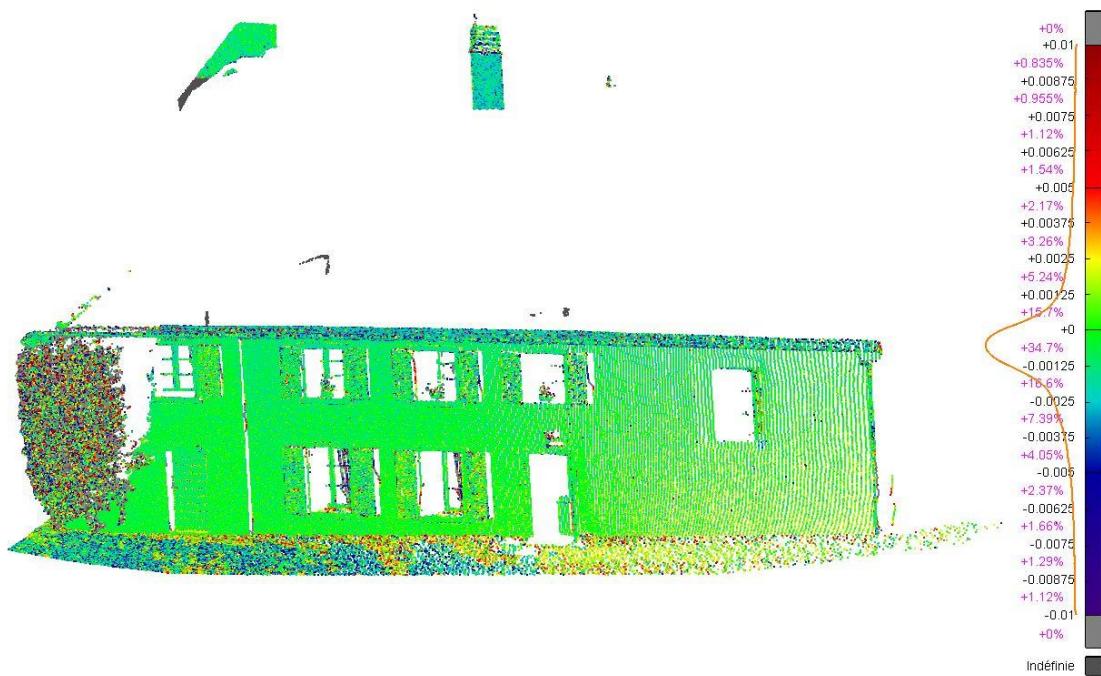


Figure 23 Qualité du référencement sur cible (P40 à l'extérieur)

Le référencement est juste. Les différences au sol sont sûrement dues au fait que le sol n'était pas plat mais en gravier. Les points n'ont pas été levés au même endroit (dessus ou au milieu du gravier) d'où les différences.

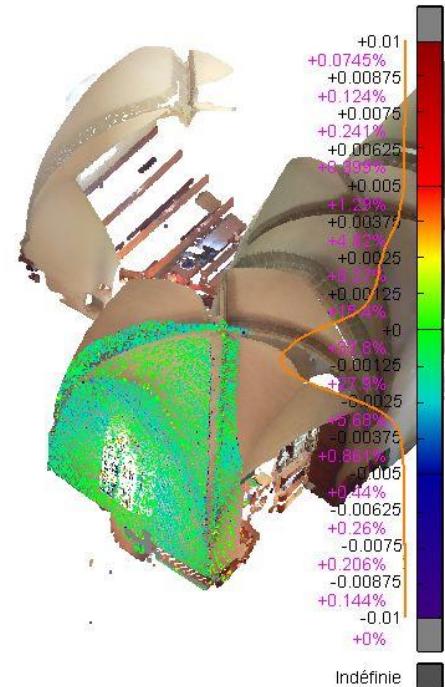


Figure 24 Qualité du référencement sur cible (Faro à l'intérieur)

Pour le faro, le référencement intérieur joue très bien avec une erreur d'1mm. Pour l'extérieur, le référencement sur cible au Faro est problématique. Au P40, les cibles sont mesurées après le scan globale avec un scan plus fin pour les détecter. Au Faro, il n'y a pas de scan fin des cibles. Les cibles étant loin du scanner, il est difficile de détecter juste les cibles et des erreurs de référencement apparaissent.

6.2.4. Nuage sur nuage

Le contrôle sera effectué sur 2 scans de MS60.

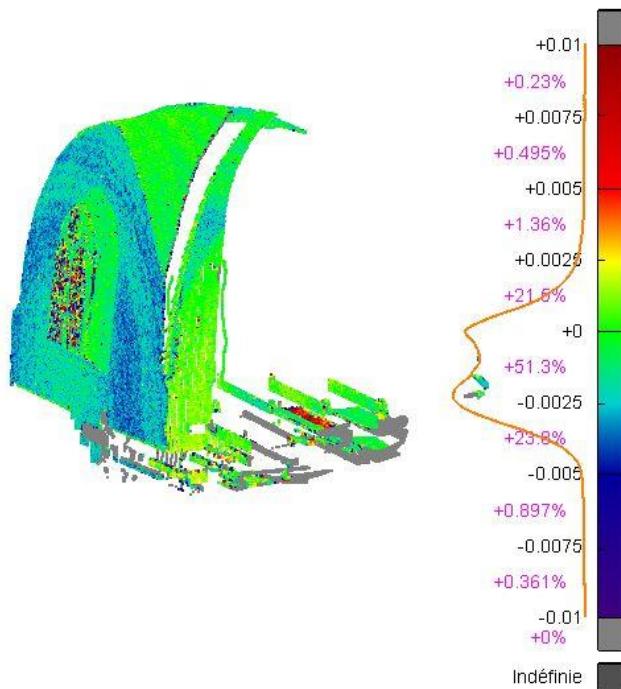


Figure 25 Qualité du référencement sur nuage à l'intérieur

Il y a une petite erreur de référencement de 2-3mm dans la planimétrie alors que l'altimétrie est bien positionnée.

Pour l'extérieur, l'erreur est de l'ordre de 3-4mm avec un erreur plus grande pour les parties hautes du scan (cheminée). C'est sûrement dû au fait que le scan au MS60 ne fait pas un 360° et ne va pas sur toute la hauteur.

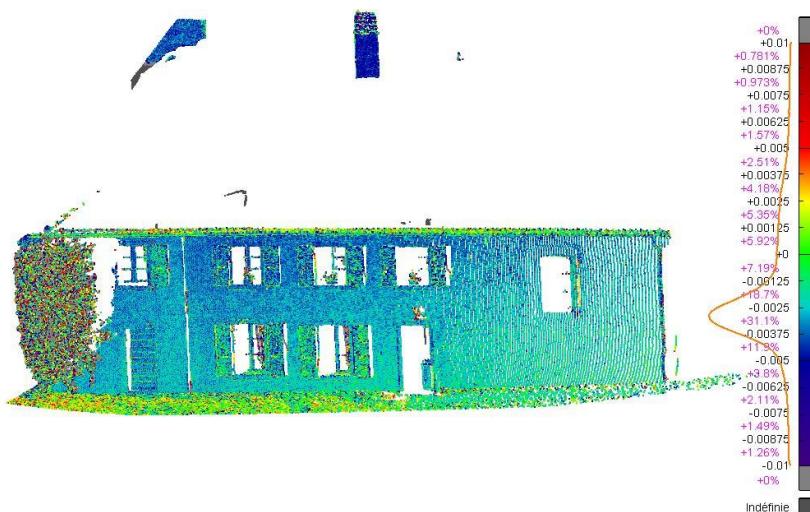


Figure 26 Qualité du référencement sur nuage à l'extérieur

6.3. CHOIX DE RÉFÉRENCEMENT

Le choix de référencement pour les scanners dépendrait du type de chantier. Par exemple, pour un chantier en extérieur dans des zones agricoles, le référencement via nuage-nuage est déconseillé car les nuages n'auraient pas de mur verticaux mais que des sols proches l'horizontale et il serait donc ainsi difficile de les caler ensemble. Ceci est une hypothèse et n'a malheureusement pas pu être vérifier sur le terrain.

Pour l'intérieur ou dans des zones fortement urbaines, le nuage-nuage paraît adapté car il y a beaucoup de plan de points différent (verticaux dans un sens, verticaux dans un autre sens, horizontal, etc.). L'intérieur avec des cibles demande beaucoup de contrainte pour passer d'une pièce à l'autre. Il faut ainsi entre chaque pièce voir 3 cibles vu depuis la station scanner précédente ou faire une polygonale au tachéomètre dans les pièces pour y placer des cibles. Ce qui voudrait dire que le travail se fait à double à l'intérieur (polygonale et scanner).

Il semble que la meilleure méthode, dans la plupart des cas, serait un mélange des 2 référencements. Ainsi, pour l'extérieur, je ferais mes scans en les calant sur des cibles référencées et la liaison intérieur-extérieur avec du nuage-nuage sur une station sur le palier de porte en voyant quelques cibles référencées. Ensuite, à l'intérieur, quelques cibles seront placées comme point de liaison (pas des cibles référencées) et comme contrôle au traitement des nuages-nuages. Pour finir, il serait bénéfique que sur la dernière station scanner, une vision sur l'extérieur permette de voir une cible connue en coordonnées pour contrôler l'ensemble du calage du chantier.

Le fait de référencer les scans extérieurs sur des cibles permet ainsi de référencer l'entier de notre chantier dans le système choisi. Les bureaux actuels ne sont pas tous en possession d'une station totale de type MS60 qui permet également de scanner un nuage directement référencé. Et pour un bon référencement des nuages-nuages sur genre de station, il serait nécessaire de faire un 360° pour ne pas avoir de soucis de calage des nuages. Et la durée de mesure pour faire un 360° est extrêmement longue avec ce genre d'appareil.

7. COMPARAISON DE LOGICIEL

7.1. PHOTOGRAMMÉTRIE

Pour la photogrammétrie, nous nous sommes appuyés sur la bibliographie (THIBAUT, 2015) et sur les nuages comparés précédemment.

8. OBTENTION D'UN NUAGE DANS UN MILIEU RESTREINT

Le but de cette étape est de trouver un moyen d'obtenir un nuage de points dans un milieu restreint, dans notre cas le clocher. 3 types de mesures ont été effectuées (scanner héron mobile, scanner Faro et des vidéos à l'appareil photo).

Le clocher est accessible seulement en montant un escalier qui possède un contour à 90° et d'une largeur d'environ 80cm. A l'intérieur du clocher, la montée fait via des échelles accrochées aux murs. Il existe à l'intérieur des ouvertures qui sont condamnées. Il est alors impossible de faire une visée vers l'extérieur depuis l'intérieur du clocher.



Figure 27 Photos du clocher (escalier de l'entrée et l'intérieur du clocher)

8.1. HÉRON

Avec le héron, la montée se fait en 4 parties. Une première mesure aller-retour pour monter les escaliers qui nous font aller vers le clocher. La deuxième était quant à elle le passage au niveau supérieur pour accéder au clocher. Et les 2 autres étapes sont des montées d'une partie d'échelle.

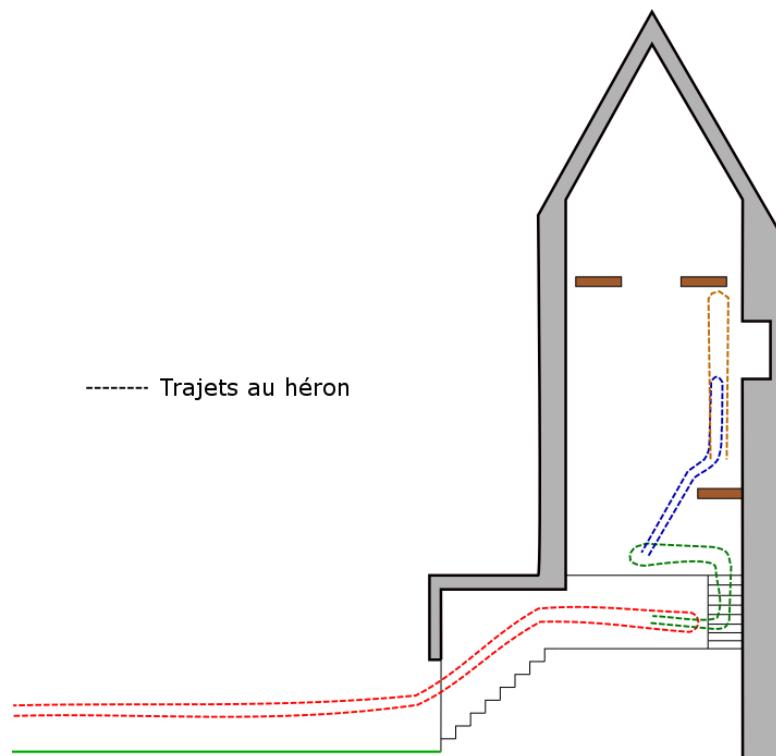


Figure 28 Trajets effectués au héron

Le traitement a malheureusement donné aucun résultat probant. Il a été impossible de passer les escaliers de manière correct. Il y a toujours un saut durant le contour des escaliers.

Pour les autres trajets vus que qu'il s'agit d'une tour, le recalage mobile ne fonctionne pas bien en tenant le héron verticalement. Il a l'impression de ne jamais se déplacer durant la montée. Vu qu'il y a que les 4 bords de mur. Sur le schéma ci-dessous, il y a un exemple de scan dans le clocher comment il doit être et comment il le comprend. Vu que qu'il n'y pas d'élément plan horizontal, il n'arrive pas à calculer une différence de hauteur entre les 2 positions de scan.

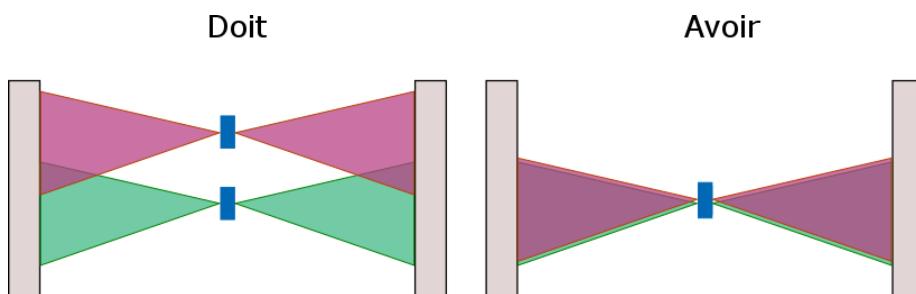


Figure 29 Problématique du héron dans le clocher

Une technique possible pour obtenir un bon nuage dans le clocher serait de tenir le héron plus à l'horizontale pour toujours avoir le repère du sol durant la montée. Cette technique n'a pas été testée. Elle est schématisée ci-dessous.

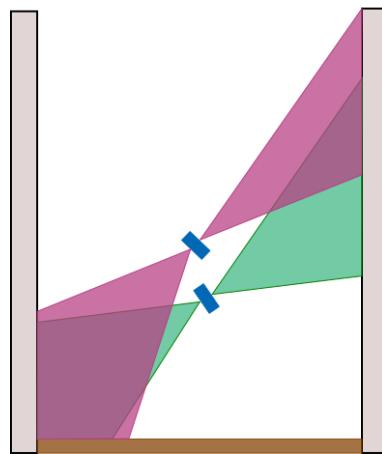


Figure 30 Schéma de scan au héron

8.2. FARO

Dans le traitement du Faro, nous connaissons la position des 4 premiers scans car, comme expliqué dans la partie des étapes de terrain, ils ont été mis sur de station MS60. Le programme utilisé a été cyclone.

Pour position les scans entre eux approximativement, des contraintes de type nuage-nuage ont été saisies pour le 4 premier scans. Pour les suivants, il a été difficile de les positionner à l'œil à cause de nombre d'objet existant dans le clocher. Et voulant en assurer son positionnement pour un bon calcul de nuage-nuage, une saisie de points communs entre les scans a été faites. A également été saisies les points de la position des stations connues en coordonnées pour leur rajouter une contrainte.

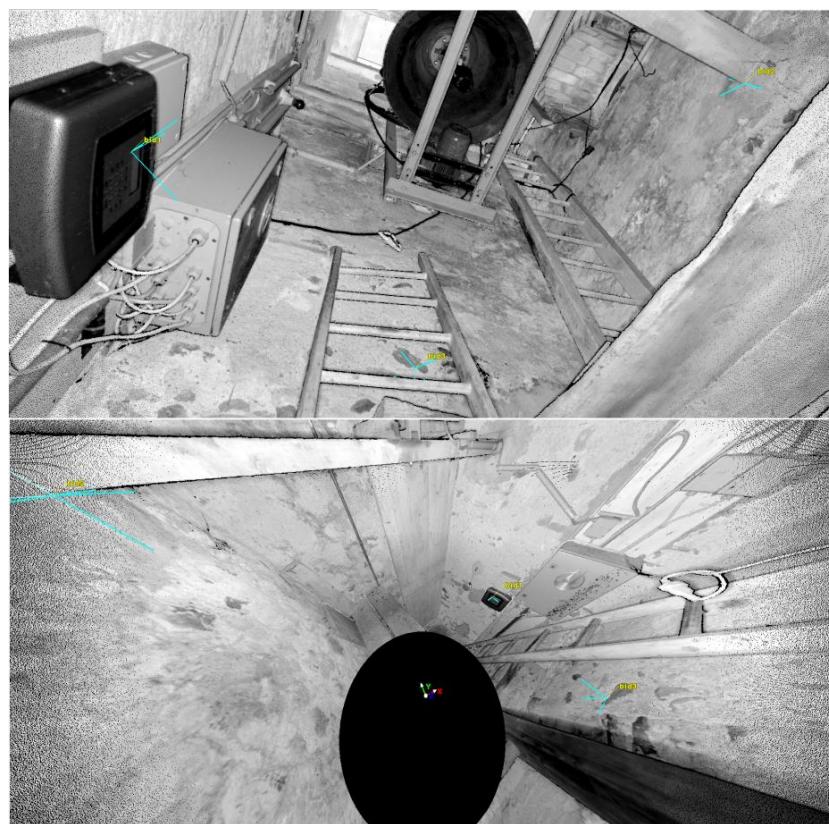


Figure 31 Exemple de sélection de 3 points communs entre 2 scans

Suite à la création de ses points, il faut lancer un pré-référencement. Les scans sont alors positionnés approximativement entre eux. La référence nuage-nuage peut alors être fait.

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector	Group Error	Group Error Vector	Group	
Cloud/Mes... Clocher_005	Clocher_006	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.010 m]	0.000 m	aligned [0.010 m]	aligned [0.010 m]	Group 1	
Cloud/Mes... Clocher_004	Clocher_005	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.008 m]	0.000 m	aligned [0.008 m]	aligned [0.008 m]	Group 1	
Cloud/Mes... Clocher_001	Clocher_002	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.013 m]	0.000 m	aligned [0.013 m]	aligned [0.013 m]	Group 1	
Cloud/Mes... Clocher_007	Clocher_008	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.012 m]	0.000 m	aligned [0.012 m]	aligned [0.012 m]	Group 1	
Cloud/Mes... Clocher_003	Clocher_004	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.009 m]	0.000 m	aligned [0.009 m]	aligned [0.009 m]	Group 1	
Cloud/Mes... Clocher_006	Clocher_007	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.001 m	aligned [0.009 m]	0.001 m	aligned [0.009 m]	aligned [0.009 m]	Group 1	
Cloud/Mes... Clocher_002	Clocher_003	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.001 m	aligned [0.008 m]	0.000 m	aligned [0.008 m]	aligned [0.008 m]	Group 1	
Cloud/Mes... Clocher_007	Clocher_009	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.001 m	aligned [0.010 m]	0.001 m	aligned [0.010 m]	aligned [0.010 m]	Group 1	
Cloud/Mes... Clocher_007	Clocher_010	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.001 m	aligned [0.008 m]	0.001 m	aligned [0.008 m]	aligned [0.008 m]	Group 1	
Cloud/Mes... Clocher_009	Clocher_010	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.001 m	aligned [0.009 m]	0.001 m	aligned [0.009 m]	aligned [0.009 m]	Group 1	
Cloud/Mes... Clocher_006	Clocher_008	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.001 m	aligned [0.010 m]	0.001 m	aligned [0.010 m]	aligned [0.010 m]	Group 1	
bid8	Clocher_010	Coincident: Vertex - Vertex	On	0.2000	0.001 m	(0.000, -0.001, 0.000) m	0.001 m	(0.000, -0.001, 0.000) m	(0.000, -0.001, 0.000) m	Group 1	
bid5	Clocher_007	Cloche..._008	Coincident: Vertex - Vertex	On	0.2000	0.003 m	(-0.001, 0.002, -0.001) m	0.003 m	(-0.002, 0.001, -0.001) m	(0.002, 0.001, -0.001) m	Group 1
bid8	Clocher_007	Cloche..._010	Coincident: Vertex - Vertex	On	0.2000	0.003 m	(0.003, 0.000, 0.001) m	0.003 m	(0.002, 0.001, 0.001) m	(0.000, 0.001, 0.002) m	Group 1
bid7	Clocher_007	Cloche..._009	Coincident: Vertex - Vertex	On	0.2000	0.003 m	(0.000, 0.001, 0.002) m	0.003 m	(0.000, 0.001, 0.002) m	(0.002, 0.002, 0.000) m	Group 1
bid8	Clocher_007	Cloche..._009	Coincident: Vertex - Vertex	On	0.2000	0.003 m	(0.003, 0.001, 0.000) m	0.003 m	(0.002, 0.002, 0.000) m	(0.002, 0.002, 0.000) m	Group 1
bid10	Clocher_009	Cloche..._010	Coincident: Vertex - Vertex	On	0.2000	0.004 m	(-0.003, -0.001, 0.002) m	0.004 m	(-0.003, -0.002, 0.002) m	(-0.003, -0.002, 0.002) m	Group 1
bid6	Cloche..._007	Cloche..._009	Coincident: Vertex - Vertex	On	0.2000	0.004 m	(0.004, 0.001, 0.001) m	0.004 m	(0.003, 0.002, 0.001) m	(0.003, 0.002, 0.001) m	Group 1
bid2	Cloche..._006	Cloche..._007	Coincident: Vertex - Vertex	On	0.2000	0.005 m	(-0.003, -0.003, -0.002) m	0.005 m	(-0.002, -0.004, -0.002) m	(0.002, -0.004, -0.002) m	Group 1
bid9	Cloche..._009	Cloche..._010	Coincident: Vertex - Vertex	On	0.2000	0.005 m	(-0.004, -0.001, 0.003) m	0.005 m	(-0.003, -0.003, 0.003) m	(0.004, -0.001, 0.003) m	Group 1
bid1	Cloche..._007	Cloche..._008	Coincident: Vertex - Vertex	On	0.2000	0.006 m	(0.003, -0.002, -0.004) m	0.006 m	(0.004, -0.001, -0.004) m	(0.004, -0.001, -0.004) m	Group 1
bid1	Cloche..._006	Cloche..._007	Coincident: Vertex - Vertex	On	0.2000	0.006 m	(-0.002, 0.005, -0.003) m	0.006 m	(-0.004, 0.004, -0.003) m	(-0.004, 0.004, -0.003) m	Group 1
bid3	Cloche..._006	Cloche..._007	Coincident: Vertex - Vertex	On	0.2000	0.007 m	(-0.006, -0.001, 0.003) m	0.007 m	(-0.005, -0.003, 0.003) m	(-0.005, -0.003, 0.003) m	Group 1
bid1	Cloche..._006	Cloche..._008	Coincident: Vertex - Vertex	On	0.2000	0.008 m	(0.001, 0.003, -0.007) m	0.008 m	(0.000, 0.003, -0.007) m	(0.000, 0.003, -0.007) m	Group 1
bid4	Cloche..._007	Cloche..._008	Coincident: Vertex - Vertex	On	0.2000	0.010 m	(-0.005, 0.005, 0.007) m	0.010 m	(-0.006, 0.003, 0.007) m	(-0.006, 0.003, 0.007) m	Group 1
Cloche..._001	Cloche..._001	coord-st.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/a	n/a	Group 1/Un...	
Cloche..._004	Cloche..._004	coord-st.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/a	n/a	Group 1/Un...	
Cloche..._002	Cloche..._002	coord-st.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/a	n/a	Group 1/Un...	
Cloche..._003	Cloche..._003	coord-st.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/a	n/a	Group 1/Un...	

Figure 32 Résultat final du référencement

Dans le résultat final, les erreurs sont en-dessous du cm. Les points créés pour le pré-assemblage de scan (bid1 à bid10) ont été gardé dans le calcul final mais avec un poids moindre par rapport au nuage-nuage. Leur erreur maximale est de 1cm pour le point bid4. C'est dans un fourchette justifiable par le fait que le pointé des points était approximatif. Par contre, l'erreur de nuage-nuage sont de l'ordre du mm et l'erreur de vecteur d'environ 1cm pour tous les scans.

Un autre contrôle peut également être effectué en contrôlant des coupes dans le nuage. Il ne faut pas qu'il y ait des lignes de points parallèles.

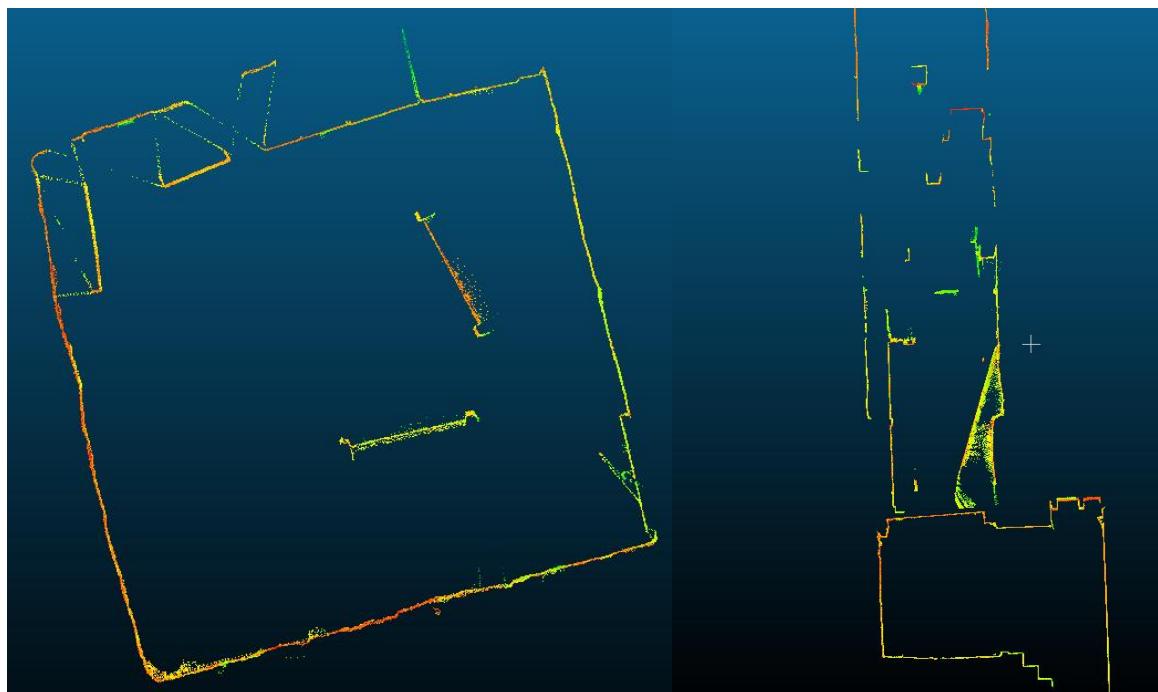


Figure 33 Coupe du clocher effectué avec CloudCompare

8.3. VIDÉO CANON EOS 5DS R

4 vidéo ont été prise dans le clocher. Le traitement dans MicMac ne fonctionnait pas. Une calibration a été calculée mais l'aérotriangulation de toutes les photos n'a pas fonctionné.

Avec Agisoft, le traitement s'est effectué facilement. Un premier calcul pour trouver la calibration a été faite sur quelques photos. Il a ensuite fallu rajouter petit à petit des photos afin d'avoir une bonne aérotriangulation.

Par contre, le projet n'est pas à l'échelle. Pour effectuer la mise à l'échelle, un double-mètre a été placé et servira de facteur d'échelle. Le petit problème est que si nous faisons une erreur de pointage de 1cm l'erreur se répercute sur un chantier d'un taille d'environ 15m. Nous aurions alors une erreur de 7.5cm. Le meilleur moyen est de créer 2 points facilement reconnaissable dans les scans Faro et dans les photos. On peut alors déduire la distance entre ses 2 points et les saisir dans notre chantier.

Il aurait été plus simple de lever 2 points à l'extérieur avec le MS60 et de faire que nous les voyons dans l'aérotriangulation.

Ensuite, il a fallu référencer le chantier. Pour se faire, le nuage du MS60 depuis la station 8003 et utilisé comme base. Le programme cyclone a donc été utilisé pour référencer ce nuage.

8.4. COMPARAISON

9. MÉTHODE DE RESTITUTION

Dans ce chapitre sera traité la restitution. Deux secteurs vont être restitué de plusieurs manières afin de pouvoir obtenir une idée du meilleur moyen de restitutions pour tel ou tel cas.

9.1. FAÇADE SUD

Il existe plusieurs sortes de restitution. Le choix du type de restitution dépend la qualité voulue et du type de restitution à effectuer. Par exemple, pour une façade, plusieurs choix s'offrent à nous. Est-ce que nous désirons obtenir un plan de façade, une modélisation simplifiée en se basant sur des contraintes géométriques (fenêtre rectangulaire) ou une modélisation complète en se basant seulement sur le nuage de points.

Comme contrôle de la modélisation, des fenêtres sur la façade ont été levée au MS60. Il faut faire attention au fait qu'une partie de la différence entre les coordonnées peut venir du référencement du nuage.

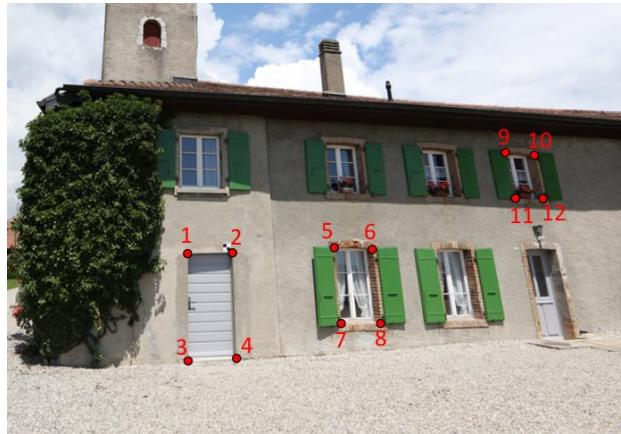


Figure 34 Positions des points de restitution et levé au MS60

Afin de voir si les différences viennent du fait du référencement, une représentation graphique des différences permet de s'en rendre compte. Si les décalages sont tous dans le même sens c'est qu'il y a un problème avec le référencement. Sur le schéma ci-dessous, les différences sont dans tous les sens. Nous pouvons donc dire que le référencement n'a pas eu d'impact sur la différence entre les coordonnées des points.

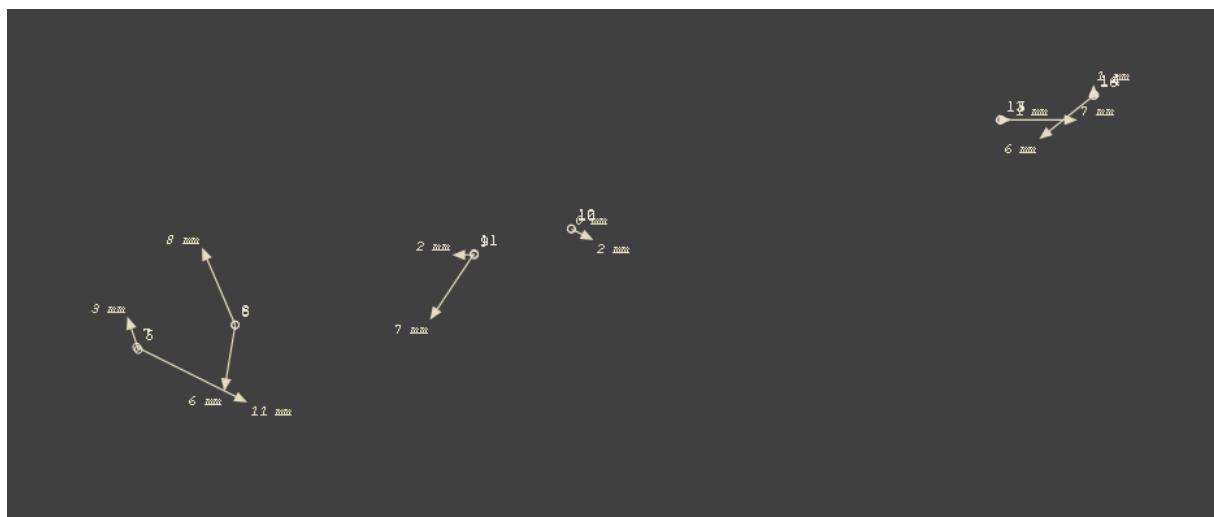


Figure 35 Représentation graphique des différences de coordonnées (annexe 3)

9.1.1. Modélisation complète

9.1.1.1. Agisoft

Avec le logiciel d'agisoft, il existe deux manières d'obtenir une modélisation depuis un levé.

- Redessiner une forme sur une image qui va interpoler les coordonnées de la forme par rapport au nuage de points denses
- Faire de la restitution de points. Cela veut dire que nous indiquons dans plusieurs photos le ou les points à restituer et il nous fait alors une intersection de direction pour trouver la coordonnée du ou des points.

9.1.1.2. 3DReshaper

Modélisation

3DReshaper est un logiciel de modélisation. Une modélisation de la fenêtre est alors possible. Une comparaison entre les angles de la modélisation de la fenêtre et le MS60 permettent de savoir la qualité de la modélisation. Pour faire la modélisation de la fenêtre des plans ont été créés sur les bord des fenêtres. Ensuite en intersectant les différents plans, nous trouvons les points des différents angles de la fenêtre. Il suffit ensuite de créer des maillages entre ses différents points pour obtenir la modélisation de la fenêtre.

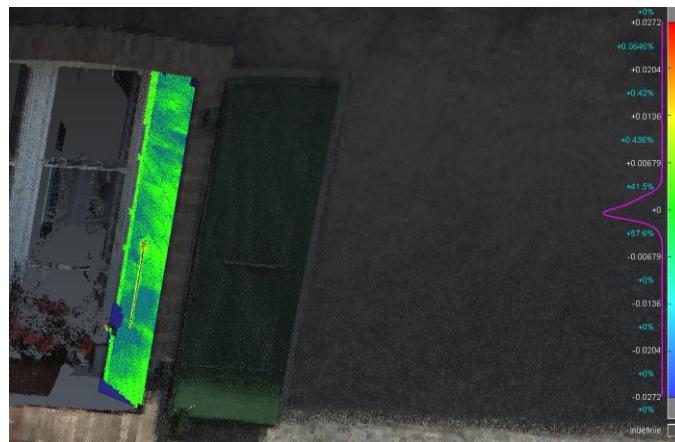


Figure 36 Modélisation avec meilleures plans

Contour planaire

3DReshaper permet de sortir des contours sur le nuage en fonction de plan extrait. La résolution sera alors effectué à partir de ce contour

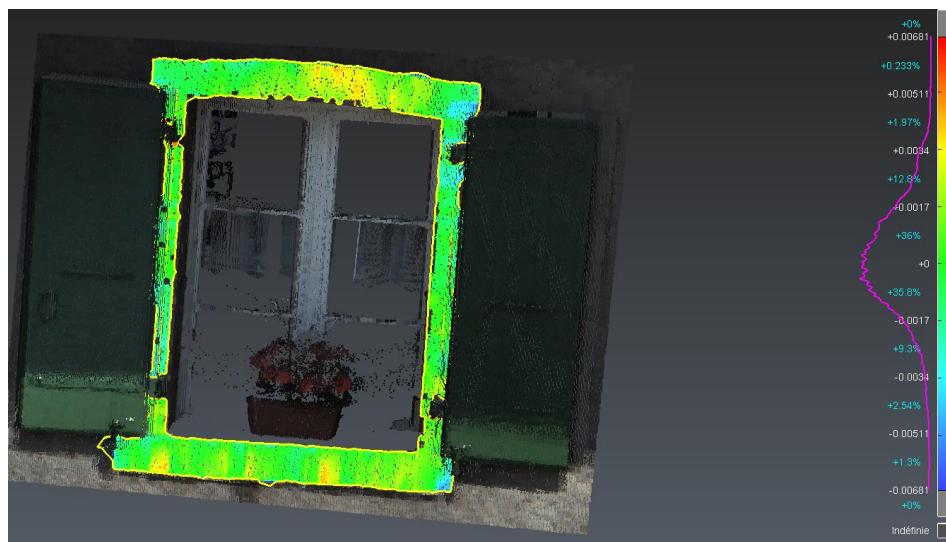


Figure 37 Crédit de contour planaire avec 3DReshaper

Le polygone n'est pas complètement propre mais permet d'avoir une manière facile de trouver le contour de la fenêtre. Le polygone est sur un même plan, il faut donc que le plan soit juste comme montré dans l'image ci-dessus. Ensuite, une manipulation de rééchantillonage de la polygone permet de réajuster les bords.

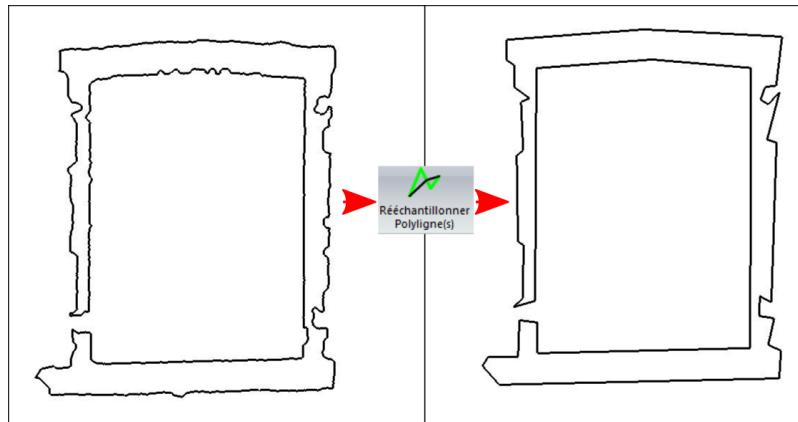


Figure 38 Rééchantillonage de polygones avec 3DReshaper

Cette technique marche bien dans la plupart des cas. Il est possible d'avoir une erreur mais elle se voit rapidement et peut être corrigée en saisissant le point d'une autre manière. Dans la comparaison, nous pouvons voir que cette technique a marché très bien pour toute les ouvertures testées excepté pour un angle de fenêtre (point 7 dans le tableau des comparaisons page suivante)

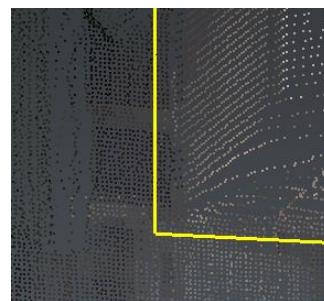


Figure 39 Erreur de contour sur l'angle de la fenêtre

9.1.1.3. VirtuSurv

VirtuSurv permet de faire de la restitution depuis une vision depuis le centre de la station scanner effectuée sur le nuage de point. En sélectionnant des points dans une image des points scanners, nous pouvons obtenir les coordonnées 3D de points. Par contre, pour obtenir une bonne précision des mesures, il est nécessaire que la restitution se trouve proche du scanner car la densité de point diminue plus on s'éloigne et il est plus dur de voir l'angle de la fenêtre. Sur la figure ci-dessous, à droite, il est difficile de voir l'angle de la porte tandis que sur celle de gauche qui est une fenêtre située plus proche de scan il est facile de définir l'angle.

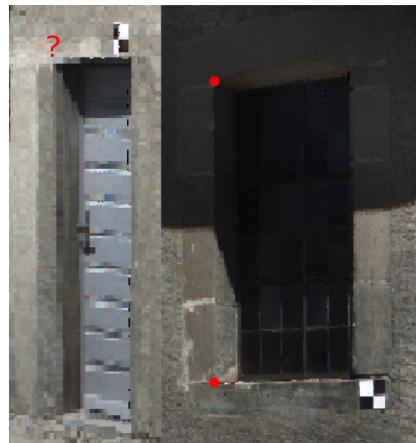


Figure 40 Capture d'écran de la vision dans VirtuSurv

Une des autres contraintes de cette restitution est qu'il faudrait mieux avoir des scans des fenêtres depuis 2 directions ce qui permettrait de diminuer une erreur de pointés comme expliqués dans le schéma ci-joint.

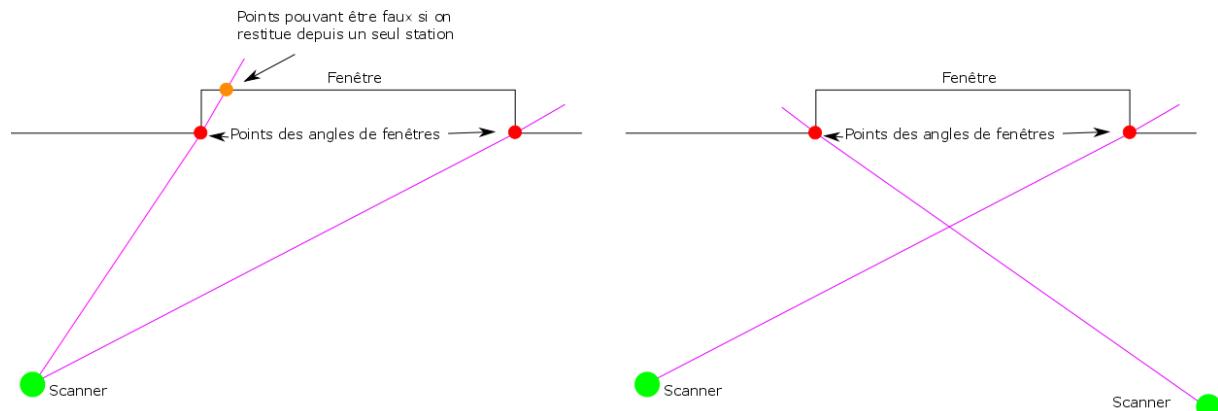


Figure 41 Schéma de restitution de scanner

9.1.1.4. Comparaison

Comparaison des coordonnées restituées par rapport aux points levés au MS60											
Id Points	Type	Ecart [mm]	Type	Ecart [mm]	Type	Ecart [mm]	Type	Ecart [mm]	Type	Ecart [mm]	
1	Restitution (Agisoft)	12	Forme sur photo(Agisoft)	11	Modélisation (3DReshaper)	6	Contour planaire (3DReshaper)	10	Restitution de scanner (VirtuSurv)	7	
2		8		8		6		2		14	
3		16		12		13		5		17	
4		11		11		7		4		14	
5		9		10		2		8		23	
6		5		4		3		8		12	
7		10		15		8		26		38	
8		6		10		1		9		9	
9		8		11		7		5		26	
10		4		5		7		6		13	
11		3		10		10		9		25	
12		5		6		6		6		17	
Moyenne		8		10		6		8		18	

Tableau 1 Comparaison des restitutions

Les écarts de restitution sont environ dans le même ordre de grandeur de différence. Cela veut dire que nous sommes dans le cm. La méthode la plus facilement exécutable et de faire des

formes sur Agisoft et ainsi nous pouvons les exporter en DXF pour les récupérer dans un logiciel de DAO. La création du contour de la fenêtre est également une solution rapidement mise en place dans 3DReshaper. Il faut par contre contrôler la position des angles par rapport au nuage. Nous pouvons alors directement obtenir des lignes de rupture pour la création de maillage pour de la modélisation.

La restitution avec VirtuSurv est très rapide et permet d'obtenir directement dans autocad les polylignes restituées. Par contre, les erreurs sont moins homogènes et peuvent atteindre facilement quelques centimètres en fonction de la qualité du pointés dans l'image et de la position du scanner par rapport à l'objet à restituer

9.1.1. Plan de façade

9.1.1.1. Plan via une restitution

Les plans de façades sont des vues 2D des façades. Elles peuvent découler d'une modélisation simplifiée, d'un modélisation complète ou d'un levé tachéométrique que l'utilisateur a mis à plat. Il sera expliqué dans ce chapitre la meilleur pour mettre à plat une des modélisations et d'autres méthodes permettant directement d'obtenir le plan de façade

Après avoir modélisé toutes la façade d'une méthode, nous pouvons attaquer la mise en plan des éléments



Figure 42 Restitution des éléments de la façade

Il faut alors créer le plan de la façade. Dans notre cas, il a été créé en fonction du nuage de points de la façade Sud. Il pourrait très bien venir de divers endroits tel qu'un levé tachéo, ect...

Ensuite, il faut projeter sur ce plan les formes de la façade pour qu'elles soient toutes sur un seul et même plan. Sinon, lors de la rotation pour la mise à plat des erreurs pourrait apparaître.

Les différentes manipulations effectuées ont été faites dans 3DReshaper. Il aurait été possible de les faire via un autre programme (exemple : PointSense qui permet directement de projeter des lignes sur un maillage).

Dans 3DReshaper pour projeté des formes sur un plan, il faut faire 2 étapes de calcul. La première étape est de créer le plan. Ensuite, il existe un outil qui permet de projeter les polylignes sur le plan. Il suffit ensuite de faire deux rotations pour obtenir notre plan de façade. Le détail des manipulations se trouve dans l'annexe 4.

9.1.1.2. Plan via orthophoto

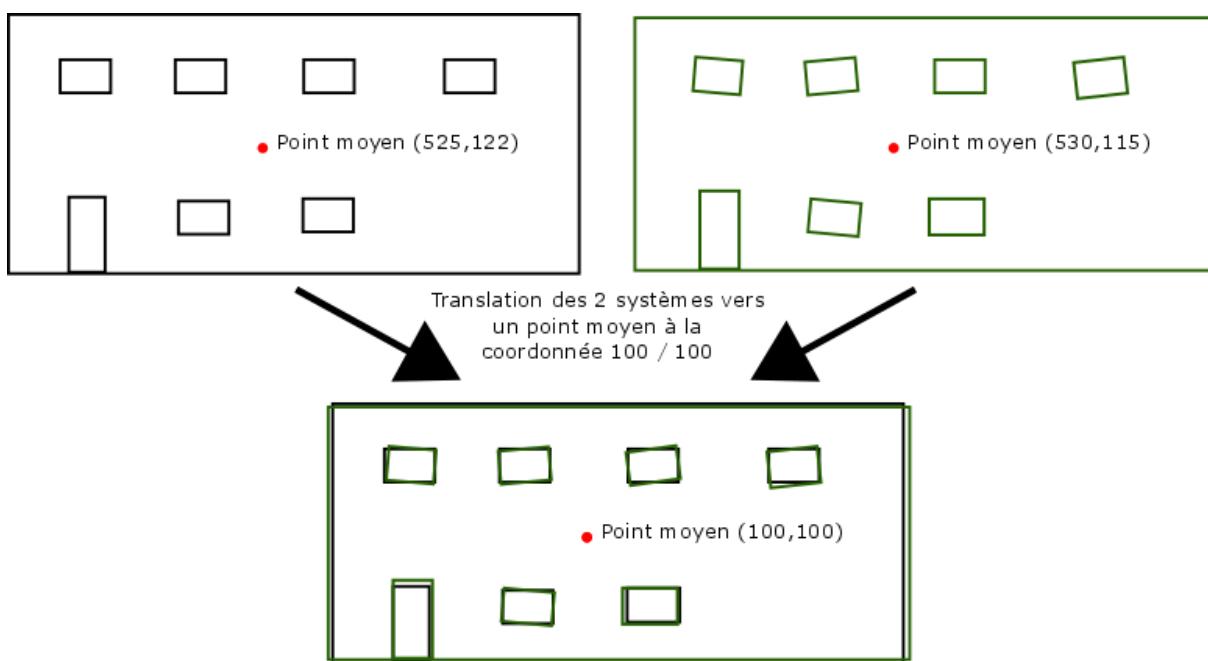
Agisoft permet d'obtenir une orthophoto de façade. En annexe 5 se trouve le détail des manipulations à faire pour créer l'orthophoto de façade. Sur cette orthophoto, il est possible d'effectuer une digitalisation manuelle sur l'orthophoto.

9.1.1.3. Plan via dessin sur plan

Un autre moyen d'obtenir un plan de façade serait de dessin le plan plus de le translater en amont de la façade. Ensuite, il y a la possibilité de modifier l'emplacement du SCU sur le plan pour avoir la normal au plan en axe des Z. Ainsi, dans 3DReshaper, nous pouvons placer notre vision perpendiculaire à la façade est redessiner sur le plan les éléments à digitaliser. Derrière le plan, il y a plusieurs choix qui peuvent être choisi pour digitaliser (nuage de points / maillage des points 3DReshaper)

9.1.1.4. Comparaison

Pour la comparaison, j'ai fait le plan via restitution que pour le contour planaire extrait de 3DReshaper. Afin de pouvoir comparer les différentes façades, un point au coordonnées moyennes de tous les points pour chaque façade a été calculé. Ensuite, une translation de toutes les coordonnées des différentes acquisitions du plan de façade a été fait pour que chaque point moyen ait les mêmes coordonnées.



Sur le schéma ci-dessus, la façade a été mesurée de 2 manières différentes et le but est de le comparer. En effectuant une translation des 2 systèmes de façades vers un même système, la comparaison peut ainsi être faite sur l'ensemble des points. Dans notre cas, seul 1 portes et 2 fenêtres sont comparée (idem que pour la modélisation complète)

Comparaison de coordonnées dans un système d'un plan de façade par rapport au MS60						
Id Points	Type	Ecart [mm]	Type	Ecart [mm]	Type	Ecart [mm]
1	Plan depuis restitution de contours planaires	10	Plan digitalisé dans 3DRshaper	3	Orthophoto de Agisoft digitalisée	138430
2		5		2		139072
3		7		6		137057
4		4		2		137693
5		8		7		140712
6		9		10		141346
7		9		10		139645
8		7		1		140280
9		7		10		145822
10		6		8		146446
11		7		16		145022
12		5		3		145647
Moyenne		7		7		141431

Figure 44 Comparaison des plans de façade par rapport aux mesures du MS60

Dans l'annexe 7, une analyse graphique des différences de plan de façade a été effectué.

9.1.1. Modélisation simplifiée (2.5D)

9.2. ARCHE DE L'ÉGLISE

Cette étape consiste à restituer les moulures d'une des arches de l'église. Plusieurs méthodes vont être testée et le but étant de trouver la méthode la plus facilement mise en place.

9.2.1. Texture sur maillage

Ce test est effectué avec un maillage extrait d'un nuage de scanner. Le maillage pourrait provenir d'ailleurs que d'un nuage scanner. On projette ensuite sur le maillage les photos. Cette possibilité de faire fonctionne avec le programme Agisoft et approximativement avec MicMac.

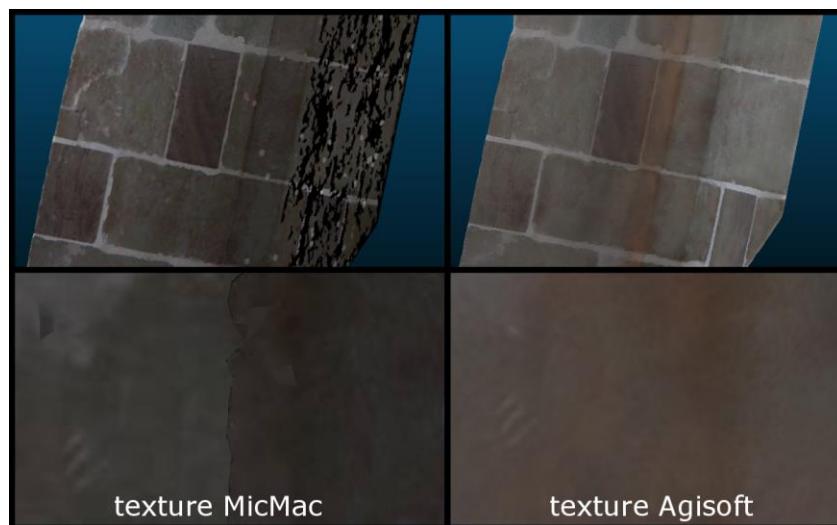


Figure 45 Comparaison de la texturation

La texture MicMac n'est pas fiable et pose des soucis pour certaines parties. La différence entre les images projetées sur le maillage est visible pour MicMac alors que le lien entre les images avec Agisoft est propre.

Il suffit alors de digitaliser sur le maillage les moulures.

9.2.2. Photogrammétrie

Il existe 2 méthodes comme expliqué dans la chapitre précédent (chap. 9.1.1.1). Ces 2 méthodes sont simples à mettre en place pour la restitution de mouiture

10. MÉTHODE D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENT OPTIMALE

11. CONCLUSION

12. ANNEXES

1 : Script python avec une explication

2 : Résultat des référencements

3 : Représentation graphique des comparaisons de coordonnées des points restitués

4 : Formulaire de rotation pour la création de plan de façade

5 : Création d'orthophoto via Agisoft

6 : Dossier photo de l'église

7 : Représentation graphique des différences des plans de façade

13. BIBLIOGRAPHIE

BROCH, FLORIAN: 2018, *Travail d'approfondissement : Utilisation de la caméra Ladybug en photogrammétrie*

THIBAUT, DUDKA : 2015, *Photogrammétrie et modélisation 3D à partir d'images drone au sein de TPLM-3D*

14. WEBOGRAPHIE

MICMAC: disponible à l'adresse : https://micmac.ensg.eu/index.php/MicMac_tools [Consulté le 6 juin 2018]

AGISOFT PHOTOSCAN: disponible aux adresses <http://www.agisoft.com/> et http://www.agisoft.com/pdf/manuals_other/pscan_pro_fr_1_1.pdf [Consulté le 18 juin 2018]

PX4D: disponible à l'adresse <https://pix4d.com/> [Consulté le 18 juin 2018]

PYTHON 3.6: disponible à l'adresse <https://www.python.org/> [Consulté le 29 mai 2018]

CYCLONE: disponible à l'adresse <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone> [Consulté le 7 juin 2018]