

DES NUAGES 3D ET DES IMAGES VERS UNE MAQUETTE NUMÉRIQUE

THÈSE DE BACHELOR



Diplômant : Della Casa Bruno

Professeur responsable : Barras Vincent

Expert : Brahier Julien

Mandant : Bureau d'études ROSSIER SA, Maurer Nicolas

Date : 26 juillet 2018



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



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

RÉSUMÉ

Il existe actuellement 2 méthodes d'obtention de nuage de points 3D. La première méthode est l'utilisation de scanner qui permet de relever des points grâce un distancemètre et une mesure d'angles. La deuxième méthode est la photogrammétrie dont l'obtention de nuage de points se fait grâce à la corrélation d'image. L'acquisition de ses nuages a pour but d'établir une modélisation.

Ainsi, pour effectuer une modélisation, il existe diverses manières pour la référencer et pour la restituer. Il sera donc question dans ce travail de bachelor d'examiner les différentes combinaisons de traitement et d'acquisition de nuage afin de pouvoir définir le meilleur cheminement pour une telle modélisation. Pour déterminer la meilleure, il a fallu effectuer des relevés dont le lieu a été défini par le mandant. Plusieurs traitements seront effectués sur ces rel

Donc, dans un 1^{er} lieu, il sera définit les différents tests qui vont être effectués. Il sera question des référencements, de l'obtention de nuage de points 3D dans un milieu restreint, de la qualité du nuage de points et des différentes modélisations traitées. Les modélisations traitées seront :

- Modélisation 3D
- Modélisation simplifiée (2D+1)
- Etablissement de plan de façade
- Restitution de détails

Dans un 2^{ème} temps, il sera question des mesures sur le terrain pour permettre d'appliquer les méthodes de traitements. Il sera donc expliqué comment a été fait le levé et pourquoi il a été fait de cette manière. C'est une étape importante du travail de bachelor qui a demandé un plan de travail précis afin de ne pas effectuer du travail inutile.

Ensuite, il s'agira d'établir des comparaisons entre les référencements. Ainsi, il sera analysé la durée d'acquisition sur le terrain, la durée de post-traitement et la précision du référencement.

Par la suite, il sera effectué une comparaison des différentes méthodes pour obtenir un nuage de points 3D dans un milieu restreint. Dans notre cas, il s'agira d'un clocher d'église. Ainsi, 3 méthodes ont été testées, utilisation d'un scanner mobile, utilisation d'un petit scanner et utilisation de la photogrammétrie.

Dans un 5^{ème} lieu, la qualité du nuage en est le sujet. Dans ce travail de Bachelor, la qualité du nuage est définie par son bruit et sa densité. Ainsi, il permettra de définir quel nuage est le plus adapter pour telle ou telle modélisation.

Dans un 6^{ème} lieu, la modélisation sera le sujet principal. Elles seront donc effectuées sur plusieurs référencements et sur plusieurs nuages de points. Ainsi, il ressortira quelle modélisation est la plus précise ou la plus rapide.

Dans un dernier lieu, il s'agira de faire une compilation des différents tests afin de pouvoir définir la meilleure combinaison de traitement et d'acquisition pour chaque type de modélisation désirée.

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION.....	1
2. MÉTHODES D'ACQUISITION	1
2.1. SCANNER	1
2.2. PHOTOGRAHMÉTRIE	1
3. DÉFINITION DES TESTS	2
3.1. GÉORÉFÉRENCEMENT DES NUAGES.....	2
3.2. OBTENTION DE NUAGES DANS UN MILIEU RESTREINT.....	2
3.3. COMPARAISON DES NUAGES	3
3.4. RESTITUTION	3
3.4.1. <i>Modélisation complète</i>	3
3.4.2. <i>Modélisation simplifiée (2D+1)</i>	3
3.4.3. <i>Plan de façade</i>	3
3.4.4. <i>Restitution de détails</i>	4
3.5. LIGNE DE TRAITEMENT DES DIFFÉRENTES MODÉLISATIONS	4
4. APPLICATION TERRAIN DES TESTS.....	5
4.1. DÉFINITION DU SECTEUR DE TEST	5
4.2. MATÉRIELS UTILISÉS	5
4.3. EXPLICATION DES ÉTAPES DE TERRAIN	6
4.3.1. <i>Séparation des zones de test</i>	6
4.3.2. <i>Église</i>	6
4.3.3. <i>Comparaison des acquisitions</i>	7
4.3.3.1. Scanner	7
4.3.3.1. Photogrammétrie	8
4.3.4. <i>CLOCHER</i>	9
5. QUALITÉ DES RÉFÉRENCEMENTS.....	11
5.1. CHOIX DES RÉFÉRENCEMENTS TESTÉS	11
5.2. SCANNER	13
5.2.1. <i>Logiciel utilisé</i>	13
5.2.2. <i>Référencement sur un nuage</i>	13
5.2.3. <i>Référencement sur des cibles</i>	14
5.3. PHOTOGRAHMÉTRIQUE	16
5.3.1. <i>Logiciel utilisé</i>	16
5.3.2. <i>Aérotiangulation</i>	16
5.4. PHOTOGRAHMÉTRIE ET SCANNER	19
5.5. CONCLUSION	21
6. OBTENTION D'UN NUAGE DANS UN MILIEU RESTREINT	22
6.1. HÉRON	22
6.2. FARO	24
6.3. VIDÉO CANON EOS 5DS R	26
6.4. COMPARAISON.....	26
7. QUALITÉ DES NUAGES.....	29
7.1. SCANNER	30
7.2. PHOTOGRAHMÉTRIQUE	31
7.3. CONCLUSION	34

8. MODÉLISATION.....	35
8.1. CHOIX DES MODÉLISATIONS TESTÉES.....	36
8.2. MODÉLISATION COMPLÈTE	37
8.2.1. <i>3DReshaper</i>	37
8.2.2. <i>VirtuSurv</i>	39
8.2.3. <i>Agisoft</i>	40
8.2.4. <i>Comparaison</i>	41
8.3. MODÉLISATION SIMPLIFIÉE 2D+1	43
8.3.1. <i>Revit</i>	43
8.3.2. <i>3DReshaper</i>	44
8.3.3. <i>Comparaison</i>	44
8.4. PLAN DE FAÇADE	46
8.4.1. <i>Plan via une restitution</i>	46
8.4.2. <i>Plan via dessin sur plan</i>	46
8.4.3. <i>Plan via orthophoto</i>	47
8.4.4. <i>Comparaison</i>	47
8.5. RESTITUTION DE DÉTAILS	49
8.5.1. <i>Moulures d'arche</i>	50
8.5.2. <i>Fissures</i>	51
8.5.3. <i>Conclusion</i>	51
9. MÉTHODE D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENT OPTIMALE EN FONCTION DU MANDANT	52
9.1. SYNTHÈSE DU RÉFÉRENCEMENT ET DE LA MODÉLISATION	52
9.2. CHOIX D'ACQUISITION	52
10. ANNEXES	54
11. BIBLIOGRAPHIE.....	55
12. WEBOGRAPHIE	55

1. INTRODUCTION

Actuellement, il existe une multitude de méthode 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. La précision voulue pour ce genre chantier est de l'ordre du centimètre (choix validé par l'encadrement du travail de diplôme). 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.

2. MÉTHODES D'ACQUISITION

Dans ce travail, 2 méthodes d'acquisition ont été traitées. La première méthode est l'utilisation de scanner et la deuxième méthode la photogrammétrie. Dans ce chapitre, il sera question d'exposer les 2 méthodes et l'apport de chaque méthode.

2.1. SCANNER

Le scanner est un appareil qui permet d'obtenir directement après le levé un nuage à l'échelle. Il est ainsi directement exploitable après le levé si le chantier permet de travailler en relatif (plan de façade). Les nuages exportés des scanners sont très peu bruités et permettent de distinguer facilement les petits décrochements des façades.

2.2. PHOTOGRAMMÉTRIE

La photogrammétrie correspond quant à elle à des prises de photo de l'élément à modéliser. Il faut faire attention au recouvrement des photos et à sa qualité.

Au contraire du scanner, il demande obligatoirement un traitement au bureau pour pouvoir être utilisable par les professionnels. La photogrammétrie permet d'obtenir un nuage 3D avec un faible coût. Il suffit d'avoir un appareil photo et un logiciel de traitement photogrammétrique.

Son apport est surtout au niveau de la restitution rapidement d'élément et au niveau de la texturation des modèles 3D. Elle permet d'avoir une vision nette de la réalité de l'objet et de voir des détails invisibles au scanner des façades grâce une résolution de photo permettant de voir des objets de moins d'1 cm. Dans la Figure 1, une fissure est très clairement visible grâce à une photo haute résolution (droite) alors qu'elle est invisible dans le nuage scanner (gauche) qui a pourtant une densité de 1 point tous les 3mm.



Figure 1 Résolution de détails d'une fissure

3. DÉFINITION DES TESTS

Afin de trouver une méthodologie de traitement, plusieurs tests vont être effectués. Les différentes méthodes seront expliquées ci-dessous avec les différents traitements possibles en fonction de la qualité et de la durée.

3.1. GÉORÉFÉRENCEMENT DES NUAGES

Le but est de comparer le référencement des nuages. Il existe actuellement 3 méthodes pour référencer des nuages scanner. La première méthode est d'effectuer des assemblages de nuage sur un nuage qui est connu en coordonnée. La deuxième méthode est d'effectuer le référencement des nuages via des cibles connues en coordonnées qui sont visibles dans les scans. Et la dernière méthode est de faire de l'assemblage de nuage-nuage en relatif puis de référencer le chantier en connaissant la position d'au minimum 2 scan.

Pour la photogrammétrie, il existe également 2 méthodes. La première consiste à saisir dans les images des cibles connues en coordonnées. La deuxième méthode consiste à appliquer un facteur d'échelle sur le projet et d'ensuite effectuer le référencement via un nuage référencé comme pour le scanner. Cette 2^{ème} méthode ne sera pas traitée dans ce travail de bachelor.

Un référencement combiné (scanner et photogrammétrie) sera testé. Cette combinaison sera d'effectuer le référencement sur cibles de la photogrammétrie et d'ensuite faire du nuage-nuage entre le scanner et la photogrammétrie pour référencer l'entier des nuages.

Ce test permettra de définir la meilleure méthode de référencement en fonction du temps et de la qualité du référencement.

3.2. OBTENTION DE NUAGES DANS UN MILIEU RESTREINT

Il s'agira de trouver la meilleure méthode pour obtenir un nuage de points 3D dans un milieu restreint. Par restreint, il est entendu un milieu fermé de petite taille (moins 5m²).

3.3. COMPARAISON DES NUAGES

Ce test consistera à comparer les nuages au niveau du bruit et de sa densité. Ces diverses analyses permettront de définir la qualité du nuage. Ainsi, un nuage peu bruité et dense est idéal pour effectuer de la restitution (faible erreur des points du nuage et meilleur pointé des angles à restituer avec une forte densité).

3.4. RESTITUTION

La restitution correspond à une définition d'objet réel dans un logiciel numérique. Le but de ce test est de contrôler la qualité de la restitution et la facilité de restituer l'élément. Pour comparer la qualité de la restitution, des éléments ont été levé au MS60 (Figure 47 page 35).

3.4.1. Modélisation complète

La modélisation complète revient à restituer les éléments en fonction du nuage de points 3D. Il s'agit d'une modélisation qui prend en compte le fait que les murs et fenêtres ne sont pas forcément verticaux ou horizontaux. Le but étant de tester quelle méthode est la meilleure pour effectuer une modélisation du point de vue du temps et du point de vue de la qualité de la modélisation.

La modélisation peut donc venir soit de la photogrammétrie soit du nuage scanner.

3.4.2. Modélisation simplifiée (2D+1)

Cette modélisation correspond à dessiner en plan les murs des pièces dans une coupe horizontale en tenant compte du nuage du point et, de par la suite, extruder les murs verticalement et de saisir ensuite les ouvertures sur cette extrusion. Tous les éléments modélisés sur l'extrusion sont verticaux et horizontaux. Ils sont également perpendiculaires à la façade. Ainsi cette modélisation ne correspond pas entièrement à la réalité du bâtiment. Si les murs ne sont pas verticaux, il y aurait de grandes erreurs par rapport aux points réels sur le terrain.

3.4.3. Plan de façade

C'est une modélisation 2D de la façade. Il s'agit d'obtenir une vision plane de la façade sans avoir la position 3D des éléments par rapport aux autres. La Figure 2 montre un exemple d'un plan de façade.



Figure 2 Exemple de plan de façade¹

¹ Figure issu de <https://www.comme-un-pingouin-dans-le-desert.fr/pcmi-5-plan-facades-toitures/>

3.4.4. Restitution de détails

Ce genre de restitution revient à modéliser des détails de façade comme des empierrements ou de fissures dans des façades. Il faut ainsi trouver une technique qui permet de distinguer facilement ces divers éléments. La photogrammétrie paraît être l'outil idéal par rapport à un nuage de points extrait de scanner. Des tests seront quand même effectués avec les scanners pour voir si cette hypothèse est confirmée.

3.5. LIGNE DE TRAITEMENT DES DIFFÉRENTES MODÉLISATIONS

Traitement	Méthode	Matériel	Type de référencement	Modélisation complète	Modélisation simplifiée	Plan de façade	Modélisation Subcentimétrique
1	Scanner	P40	Via des cibles	Restitution (VirtuSurv) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper	Mise en plan de modélisation	3DReshaper
2	Scanner	P40	Via un nuage référencé	Restitution (VirtuSurv) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper	Mise en plan de modélisation	3DReshaper
3	Scanner	Faro	Via des cibles	Restitution (VirtuSurv) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper	Mise en plan de modélisation	3DReshaper
4	Scanner	Faro	Via un nuage référencé	Restitution (VirtuSurv) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper	Mise en plan de modélisation	3DReshaper
5	Scanner	P40/Faro	Via des cibles et assemblage de nuage	Restitution (VirtuSurv) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper	Mise en plan de modélisation	3DReshaper
6	Photogrammétrie	Canon EOS SDS R	Via des cibles	Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper Orthophoto	Mise en plan de modélisation Maillage texturé	3DReshaper Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft)
7	Photogrammétrie	Ladybug	Via des cibles	Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper Orthophoto	Mise en plan de modélisation Maillage texturé	3DReshaper Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft)
8	Photogrammétrie	Drone Bebop	Via des cibles	Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper Orthophoto	Mise en plan de modélisation Maillage texturé	3DReshaper Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft)
9	Scanner / Photogrammétrie	P40 / Canon EOS SDS R	Via des cibles pour P40 / assemblage de nuage photogrammétrique sur le P40	Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper Orthophoto	Mise en plan de modélisation Maillage texturé	3DReshaper Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft)
10	Photogrammétrie / scanner	Canon EOS SDS R / Faro	Via des cibles / assemblage de nuage Faro intérieur sur la photogrammétrie extérieur	Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper Orthophoto	Mise en plan de modélisation Maillage texturé	3DReshaper Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft)
11	Scanner	Faro	Coordonnées de stations connues / assemblage de nuage	Restitution (VirtuSurv) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper	Mise en plan de modélisation	3DReshaper
12	Scanner mobile	Héron	Via un nuage référencé	Restitution (VirtuSurv) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper	Mise en plan de modélisation	3DReshaper
13	Photogrammétrie	Canon EOS SDS R	Facteur d'échelle / via un nuage référencé	Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper Orthophoto	Mise en plan de modélisation Maillage texturé	3DReshaper Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft)

Figure 3 Traitement de différentes modélisations

Sur la figure ci-dessus, il y est montré 13 méthodes de traitement pour arriver à une modélisation. Dans ce travail de bachelor, elles ne seront pas toutes expérimentées. Le but de cette ligne de traitement et de pouvoir définir la meilleure méthode pour chaque cas de modélisation ou pour chaque type de secteur de chantier. Ainsi, en essayant plusieurs modélisations par traitement, nous pouvons définir quelle méthode est la plus simple, la plus précise ou la plus rapide tout en sachant qu'il existe peut-être d'autres méthodologies.

4. APPLICATION TERRAIN DES TESTS

Pour permettre de traiter les différents tests expliqués précédemment, il faut effectuer des mesures sur le terrain. Pour se faire, un bâtiment a été choisi par le mandant.

4.1. DÉFINITION DU SECTEUR DE TEST

Le bâtiment choisi est l'église de Lavigny. 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.

Les acquisitions et tests seront uniquement effectués sur la partie de culte, du clocher et de la façade extérieure au Sud-Est. Vous trouverez dans la Figure 4 une photo de l'église et un schéma des différentes pièces du rez. L'annexe 6 contient plus de photo pour permettre de mieux vous imprégner du bâtiment.

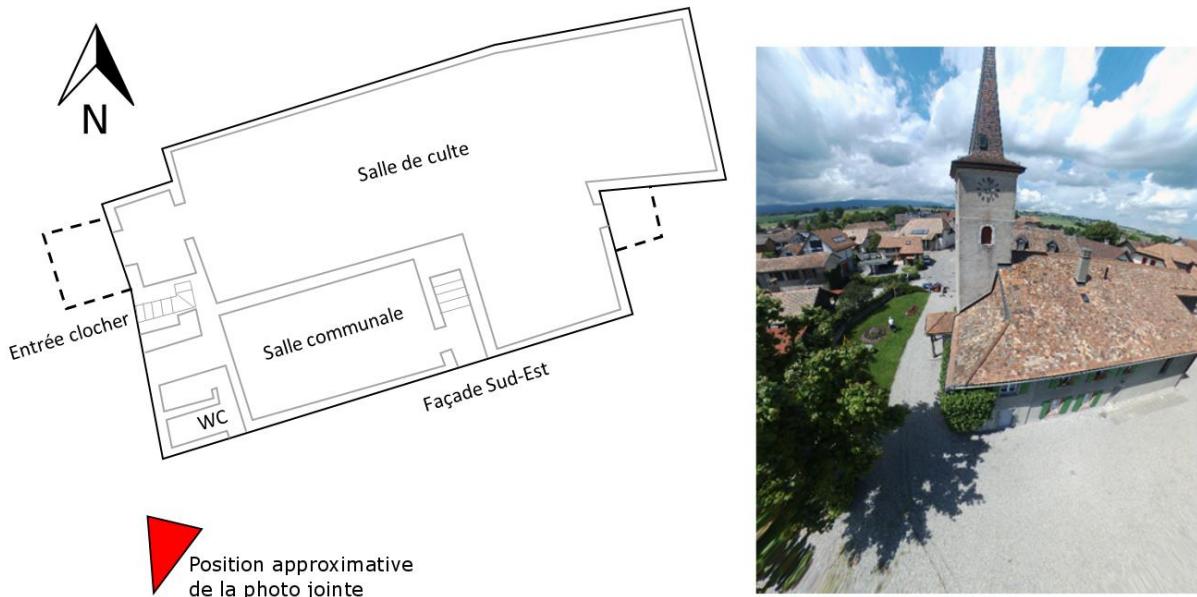


Figure 4 Détails de l'église

4.2. MATÉRIELS UTILISÉS

Le choix du matériel s'est fait en fonction du mandant et de la demande de l'expert. Le mandant (« Bureau d'étude Rossier SA ») possède actuellement un scanner P20, un appareil photo de type Canon EOS et des stations totales Leica. Nous avons donc utilisé des appareils similaires disponible à la HEIG-VD. Il s'agit du scanner P40 de Leica, de l'appareil photo Canon EOS 5DS R et de la station totale MS60 qui permet également d'effectuer des scans.

L'expert voulant étudier la possibilité d'utiliser une caméra 360° dans ce genre projet, il est décidé d'utiliser la caméra Ladybug disponible également à la HEIG-VD.

Le choix d'utiliser le scanner Faro Focus 3D 120 est dû au fait de pouvoir en comparer la rapidité d'acquisition et de traitement des nuages par rapport au P40.

Un scanner mobile a été également testé pour la partie du clocher afin de voir si cette nouvelle technologie serait utile pour ce genre de milieu.

Dans l'annexe 11 se trouve des remarques sur les divers appareils utilisés quant à leur utilité pour ce genre de travail.

4.3. EXPLICATION DES ÉTAPES DE TERRAIN

Avant, d'aller effectuer les mesures, un plan de travail a été effectué afin d'avoir une ligne de conduite pour pouvoir faire les tests expliqués au chapitre 3 page 2. Ce plan de travail se trouve à l'annexe 10 et a permis ainsi de faire les différentes acquisitions sur une journée.

4.3.1. 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 la salle de culte et la façade sud sont mesurées (voir Figure 4 page 5). La salle de culte a été choisi car elle contient des murs lisses et il sera intéressant de voir si le traitement de la photogrammétrie peut être fait dans cette pièce. Il permet ainsi de mettre en valeur les problèmes de la photogrammétrie sur certaines textures. La façade Sud a été choisie car elle contient beaucoup d'élément comme un décrochement et un multitude d'ouverture. Avec ces 2 lieux, il est également possible de tester la liaison intérieur-extérieur.

Le deuxième secteur « clocher » où le but est de pouvoir trouver une méthode qui permet d'obtenir un nuage dans un milieu confiné. Dans ce secteur, nous avons essayé 3 méthodes :

- Héron AC1 : 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.

4.3.2. Église

Une polygonale fermée au MS60 permet de lever les différentes cibles utiles pour le référencement des nuages sur cibles. Depuis 8001, 8002 et 8004 des scans ont été effectués sur les façades de l'église (Figure 10 page 11). Ces scans sont directement référencés dans le bon système. Ils serviront de contrôle au référencement des divers autres nuages de points calculés. Pour le deuxième référencement (nuage-nuage), c'est le nuage levé depuis la station 8001 qui servira de base du géoréférencement.

Deux stations P40 permettent d'obtenir un nuage dense de l'extérieur d'un point tous les 3mm à 10m. Les 5 stations Faro permettront de faire un nuage de points avec un point tous les 6mm à 10m de l'intérieur et l'extérieur de l'église.

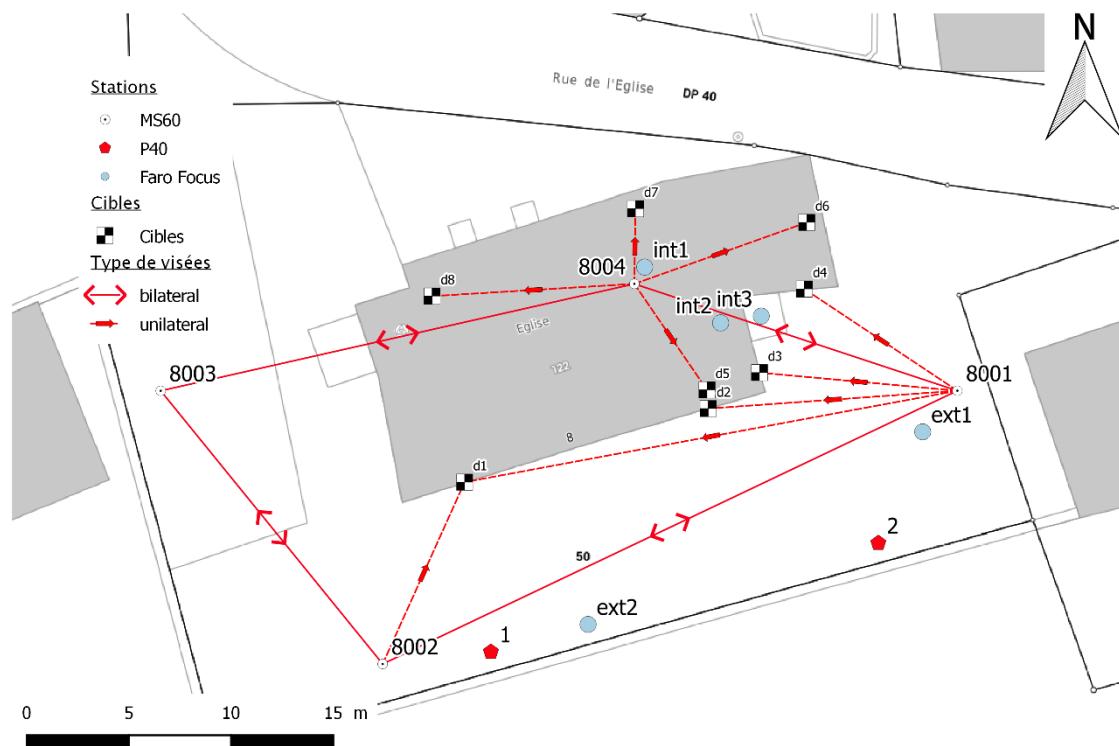


Figure 5 Carte des mesures effectuées

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.

4.3.3. Comparaison des acquisitions

4.3.3.1. 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 29secondes 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. Uniquement pour l'extérieur, il suffit de 25 minutes. Le paramétrage a été choisi ainsi afin de pouvoir effectuer l'acquisition sur une durée relativement courte et d'obtenir quand même un nuage dense pour effectuer de la restitution.

Paramétrage Faro			
mm à 10m	Durée de scan	Couleur	Qualité
1.5	1h55	+3min 20	4X
3.1	29min 37s		
6.1	8min 09s		
7.7	5min 34s		
12.3	2min 47s		
24.5	1min 26s		
49.1	1min 06s		

Figure 6 Paramétrage de scan Faro

P40

Avec un densité d'environ 1 pts tous les 3mm à 10m et avec la colorisation, le temps de station est de 10 minutes 52 secondes pour effectuer un scan global. Par contre, sur le terrain, il faut horizontaliser l'appareil et les cibles ont été mesurées en dehors du scan global. Il faut donc par station 20-25minutes. Vu la densité de points, la mesure sur cibles en dehors du scan global n'aura pas été nécessaire. Le paramétrage a été choisi ainsi afin de pouvoir effectuer l'acquisition sur une durée relativement courte et d'obtenir quand même un nuage dense pour effectuer de la restitution.

Paramétrage P40		
mm à 10m	Durée de scan	Couleur
0.8	54min	+ 7min22s
1.6	13min 33s	
3.1	3min 30s	
6.3	1min 49s	
12.5	58s	
25	33s	
50	20s	

Figure 7 Paramétrage de scan P40

4.3.3.1. 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 vu dans les photos afin de définir un facteur d'échelle à nos photos.

Lors de la prise de photos, l'entrée de l'église était à l'ombre. Il n'y a alors pas eu de problème de luminosité entre l'intérieur et l'extérieur qui aurait posé des problèmes lors de l'aérotriangulation. Une possibilité si la luminosité est très différente entre l'intérieur et l'extérieur serait de faire des photos HDR (Figure 8).

Figure 8 Luminosité intérieur-extérieur

Canon EOS 5DS R

En moins de 40 minutes, l'entier 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. Il a été utilisé 2 objectifs, un de 28mm et une de 14mm. L'objectif de 28mm est utilisé à l'extérieur pour avoir une grande résolution sur les murs avec des photos prises à environ 10m de la façade. L'objectif 14mm est utilisé pour l'intérieur afin d'avoir une grande ouverture et ainsi permettre de voir beaucoup d'éléments à l'intérieur. La résolution reste de bonne qualité car les photos sont prises à moins de 4m des murs.

Drone Bebop 2

Il suffit de 20 minutes pour prendre l'entier 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, ...).

Pour le vol l'application Pix4D Capture a été utilisé. Elle a l'avantage de permettre de prendre des photos automatiques en fonction du déplacement du drone. Par exemple, lorsque le drone se déplace de 2m, il prend une photo.

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. Il est également difficile de ne pas être sur une voir deux photos de la ladybug vu que les photos font 360°.

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

4.4. 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 scanné 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 permet 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 9). Il s'agit du traitement n°11 de la Figure 3 page 4. Le Faro a été utilisé au dépend du P40 car le P40 étant lourd et la mise en station se faisant sur des trépieds de station totale, il est difficile, voire impossible, d'effectuer les stations faites au Faro avec le P40.

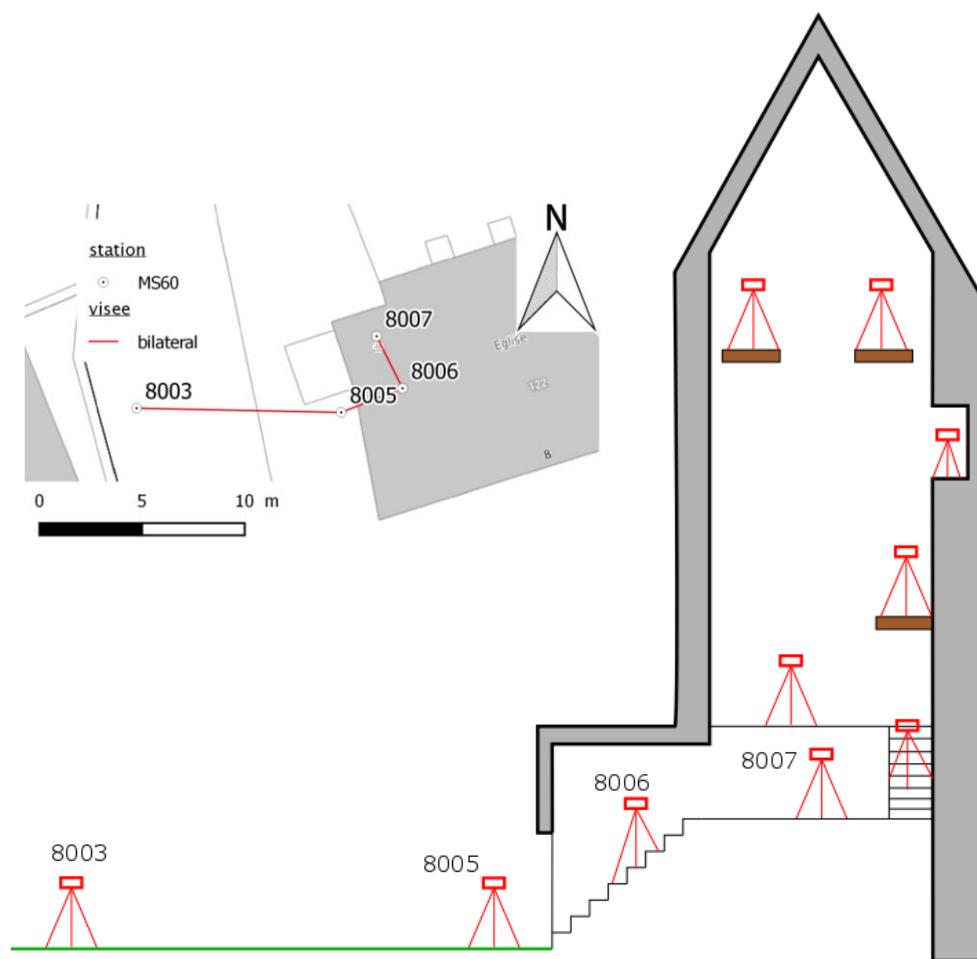


Figure 9 Schéma des stations Faro/MS60

Un scanner mobile a été utilisé depuis l'extérieur jusqu'en haut du clocher en 4 étapes (voir Figure 29 page 23). Il s'agit du traitement n°12 dans la Figure 3 page 4.

Plusieurs vidéos au Canon ont également été prises (voir l'annexe 9 contenant les différentes vidéos). Le choix de la vidéo a été fait au dépend de la prise de photo pour pouvoir garantir un calcul d'aérotriangulation et être sûr qu'il ne manque pas de photos pour continuer la liaison durant la montée du clocher. Il s'agit du traitement n°13 dans la Figure 3 page 4.

Le but de ces différentes acquisitions est de voir quelle méthode est applicable pour être utilisée dans un milieu restreint.

5. QUALITÉ DES RÉFÉRENCEMENTS

Ce chapitre traite la qualité des différents référencements. Le but est ainsi de pouvoir contrôler le bon calage des nuages par rapport à un système de référence. Ainsi, il sera possible de définir le meilleur référencement du point de vue du temps pour l'obtenir et de sa qualité. Pour se faire, les nuages du MS60 qui sont déjà référencé vont servir de contrôle. La position des nuages se trouve sur la Figure 10 ci-dessous.

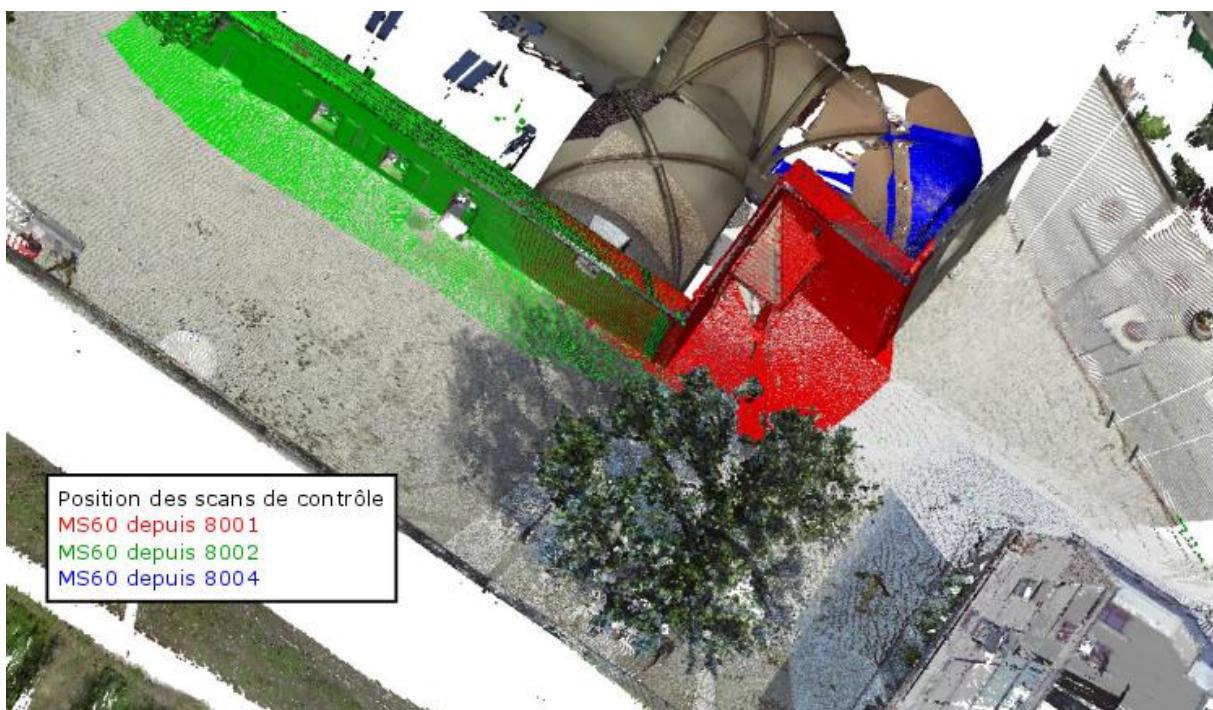


Figure 10 Position des scans de contrôle du MS60

La comparaison entre les nuages calculés et ceux du MS60 se fait à l'aide du programme 3DReshaper avec la version 18.0.28780.0. Cela permet ainsi de donner à chaque méthode de référencement un ordre de grandeur de sa qualité et d'en déduire la meilleure méthode.

Pour ce type de mesure, nous partons du principe que la qualité doit être inférieur à 1cm pour être utilisable dans le milieu de l'architecture.

5.1. CHOIX DES RÉFÉRENCEMENTS TESTÉS

Il sera question d'expliquer les choix de référencement traités dans ce travail de Bachelor. Au chapitre 3.5 page 4, il a été ressorti 13 traitements de référencement. Les traitements 1 et 3 sont identiques mais avec des appareils différents tout comme le sont les traitements 2 et 4 et les traitements 6, 7 et 8.

Traitement	Méthode	Matériel	Type de référencement
1	Scanner	P40	Via des cibles
2	Scanner	P40	Via un nuage référencés
3	Scanner	Faro	Via des cibles
4	Scanner	Faro	Via un nuage référencés
5	Scanner	P40/Faro	Via des cibles et assemblage de nuage
6	Photogrammétrie	Canon EOS 5DS R	Via des cibles
7	Photogrammétrie	Ladybug	Via des cibles
8	Photogrammétrie	Drone Bebop	Via des cibles
9	Scanner / Photogrammétrie	P40 / Canon EOS 5DS R	Via des cibles pour P40 / assemblage de nuage photogrammétrique sur le P40
10	Photogrammétrie / scanner	Canon EOS 5DS R / Faro	Via des cibles / assemblage de nuage Faro intérieur sur la photogrammétrie extérieur

Figure 11 Méthode et référencement (traitement testé/non testé)

Dans ce travail de Bachelor, il sera uniquement calculé 7 traitements de référencement (voir Figure 11 ci-dessus). Le traitement n°5 n'a pas été traité par manque de temps.

Le traitement n°7 avec la Ladybug a posé divers problèmes lors du calcul (annexe 2 page 6).

Le traitement n°8 n'a pas été effectué. Le nuage photogrammétrique demande obligatoirement d'être mis à l'échelle. Vu que le scanner a été référencé sur des cibles, il me paraît logique que le nuage photogrammétrique pourrait également se référencer et se mettre à l'échelle par rapport à ces cibles. Ce traitement n'a donc pas été effectué car il n'apporte pas de plus-value à un référencement. Si on souhaite, par contre travailler en relatif (ce n'est pas le cas pour ce projet), il est possible d'assembler un nuage photogrammétrique sans échelle avec un nuage scanner. Il faut pour cela utiliser le programme CloudCompare qui est à notre sens le seul programme permettant d'effectuer du nuage-nuage avec un facteur d'échelle sur le nuage photogrammétrique (c.f. Mancini Arthur).

L'annexe 2 contient le détail des référencements et un retour sur leur résultat.

5.2. SCANNER

5.2.1. Logiciel utilisé

Pour le référencement des nuages scanners, le programme utilisé est Cyclone avec la version 9.2.1. Ce choix a été fait car il est actuellement utilisé par le mandat et il est, à ce jour, à ma connaissance, le seul programme permettant de combiner dans un seul calcul l'assemblage de nuage et la liaison des nuages par des cibles référencées ou non. Le détail des référencements des scanners sont situées dans l'annexe 2.

5.2.2. Référencement sur un nuage

Le référencement sur nuage revient à assembler des nuages ensemble puis à référencer le bloc de nuage sur un nuage connus en coordonnées.

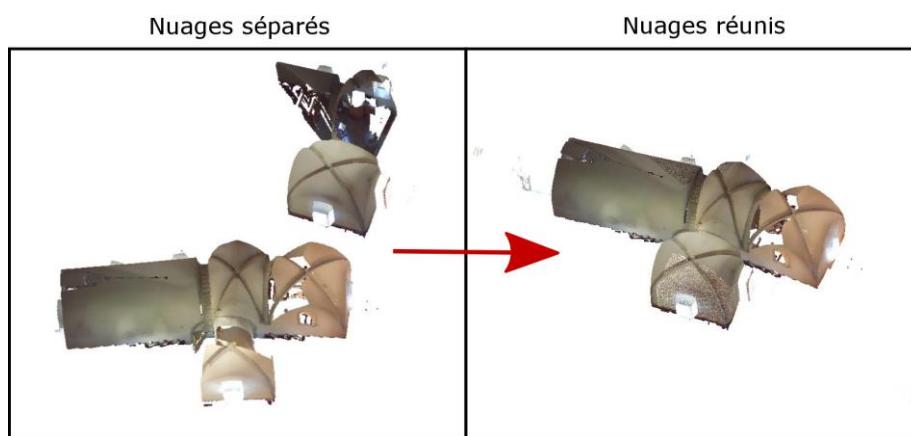


Figure 12 Schéma d'assemblage de nuage

La qualité du référencement des nuages du P40 est en-dessous de 5mm (87% des points sont en-dessous de 5mm) avec 2 pic comme montré sur la Figure 13. Cela laisse penser qu'il y a 2 nuages qui ne se sont pas bien assemblés et que c'est pour cela que la différence entre le nuage du P40 et celui du MS60 ne forme pas une courbe de Gauss mais deux. La différence étant en-dessous de 1cm, ce référencement est validé.

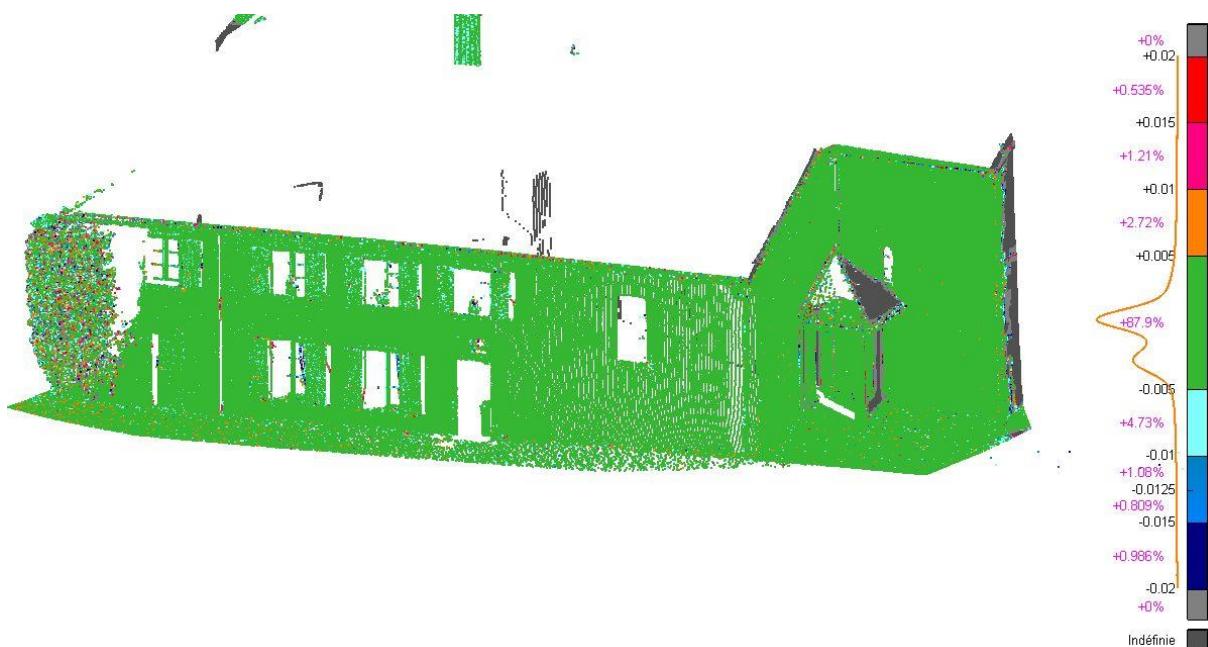


Figure 13 Qualité du référencement sur nuage du P40

Le 2^{ème} nuage qui a été traité avec ce mode de référencement est le nuage levé au Faro Focus 3D 120. La comparaison entre la valeur doit (nuage du MS60) et le nuage assemblé du Faro nous donne une erreur moyenne d'environ 4mm avec la courbe de Gauss centrée en 0. Il y a par contre une différence comprise entre 5 et 10mm pour l'extrémité du nuage Faro.

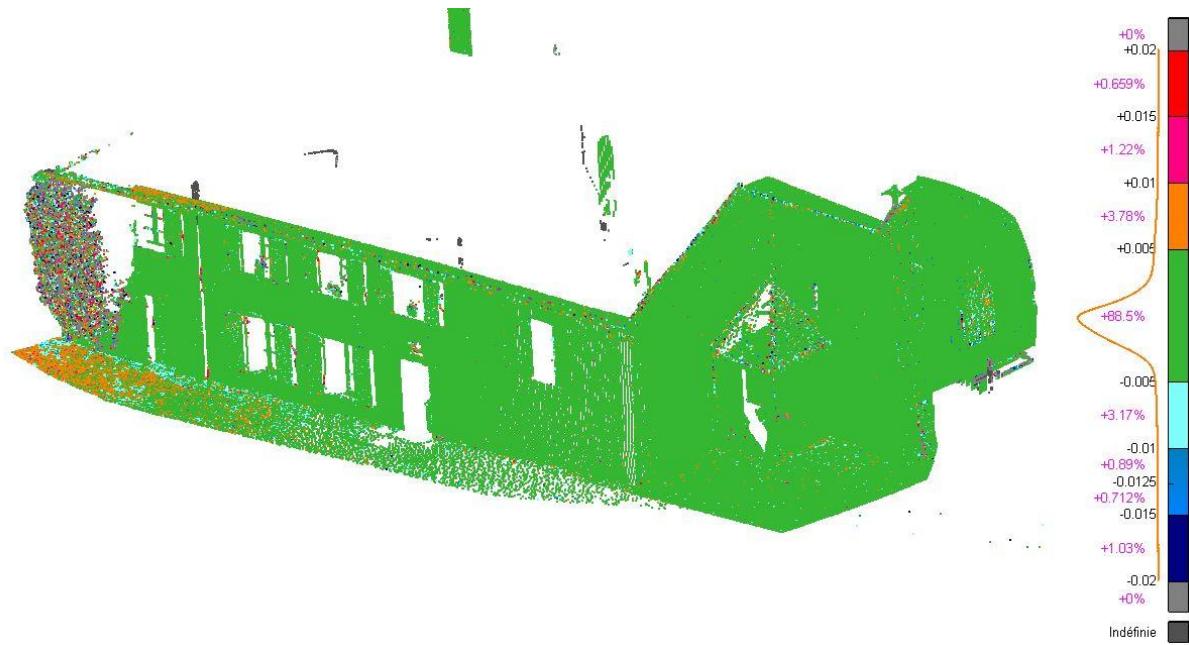


Figure 14 Qualité du référencement sur nuage du Faro

5.2.3. Référencement sur des cibles

Dans cette partie, il sera question d'analyser la qualité du référencement des nuages sur des cibles mesurées par le MS60. Comme pour le référencement sur nuage, le contrôle est effectué sur les scans du MS60. La Figure 15 montre le système de référencement sur cibles de nuages.

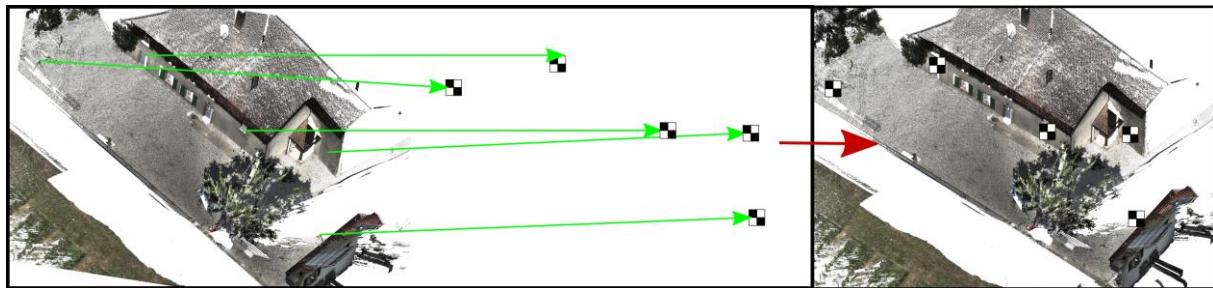


Figure 15 Référencement sur cibles

Pour le référencement sur cible du P40, l'erreur moyenne est d'environ 1-2mm (voir la Figure 16). Les cibles ont été mesurée en dehors du scan global ce qui permet d'avoir un meilleur pointé sur le damier car la densité de points a été augmentée sur les cibles. Ce n'est pas le cas avec le Faro car il n'en donne pas la possibilité. Les cibles ont ainsi été saisies en post-traitement dans le scan global du Faro. L'erreur moyenne du référencement sur cibles du Faro est ainsi plus grande (4mm) au sens de la Figure 17.

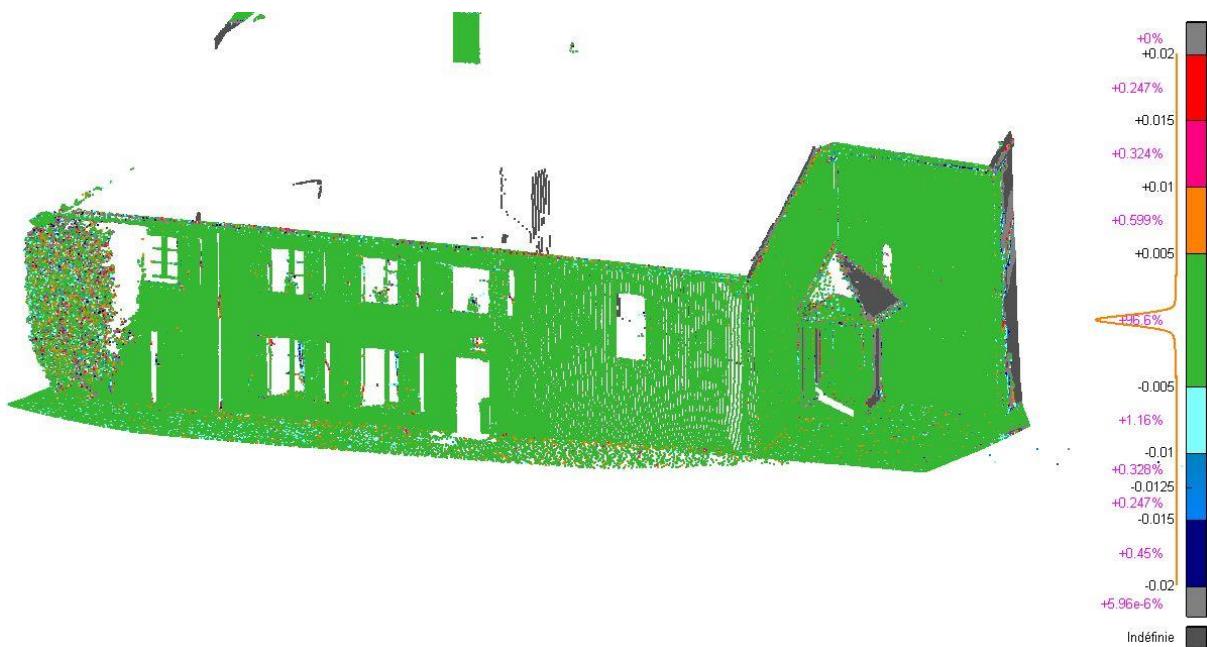


Figure 16 Qualité du référencement sur cible du P40

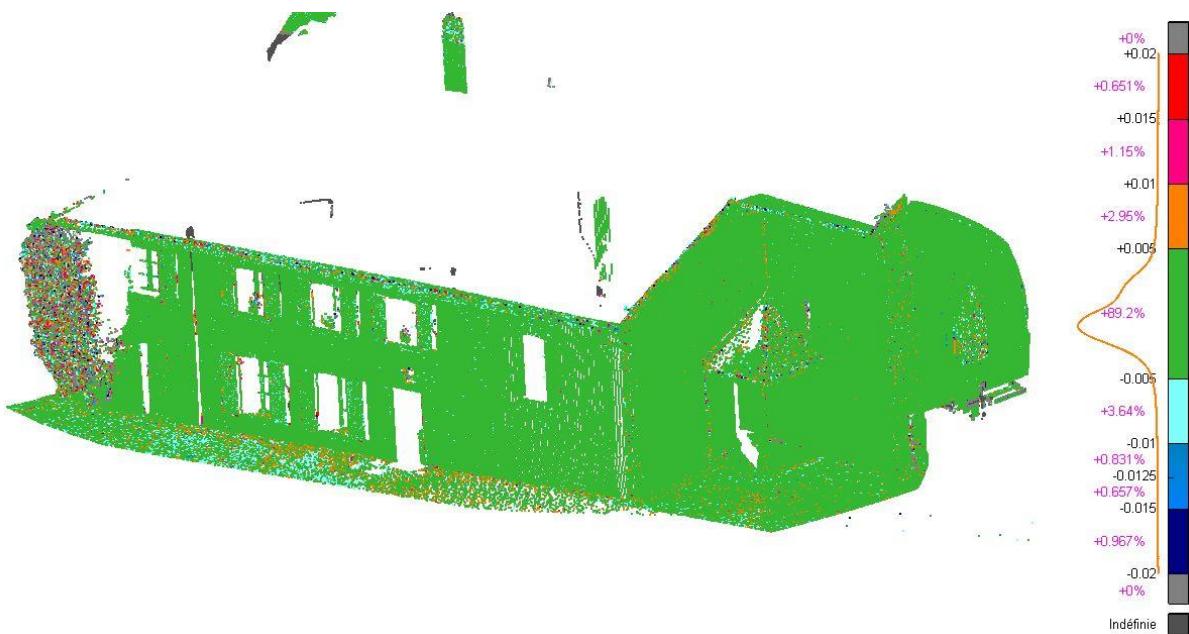


Figure 17 Qualité du référencement sur cible du Faro

5.3. PHOTOGRAMMÉTRIQUE

5.3.1. Logiciel utilisé

Le mandant n'ayant actuellement pas de logiciel photogrammétrique, il a été décidé d'utiliser le logiciel MicMac qui est OpenSource. Ce logiciel fonctionne en ligne de commande. Un script permet d'automatiser l'écriture de ligne dans un fichier batch qu'il suffit de lancer. Le script et le descriptif du fonctionnement est indiqué dans l'annexe 1.

Ce logiciel a posé divers problèmes dus au fait de son fonctionnement et sa difficulté d'apprentissage. Les diverses remarques se trouvent dans l'annexe 8. Ainsi en fonction de ses remarques, il a été décidé de se tourner vers le logiciel Agisoft plus compétitif et plus facile d'utilisation. Ce logiciel est payant mais reste abordable avec un prix pour la licence professionnelle d'environ 3500frs².

Pour l'aérotriangulation du drone Bebop, le seul programme qui a permis de la calculer est Pix4D. Le drone contient une caméra FishEye. L'avantage de la caméra FishEye est qu'il s'agit de photo grand angle. Ainsi, une photo permet de voir énormément d'éléments même si la photo a été prise proche d'un mur. Dans le cas du drone, il me semble que cela n'a pas de plus-value car les photos peuvent être prise de loin et ainsi voir les mêmes éléments. La caméra FishEye a un désavantage, il est très difficile de calculer la calibration de la caméra. C'est pour cela qu'il est fort possible qu'avec l'utilisation d'autres drones sans caméra FishEye, les programmes Agisoft et MicMac permettraient de calculer l'aérotriangulation de photo aérienne. L'annexe 8 contient les différents tests et remarques pour choisir le logiciel de photogrammétrie utilisé dans ce travail de bachelor.

5.3.2. Aérotiangulation

Le calcul de l'aérotriangulation a été effectué pour les 3 types de caméra (Canon EOS 5DS R, Ladybug et Bebop). Comme expliqué dans l'annexe 2 page 6-7, l'aérotriangulation du drone Bebop n'a malheureusement pu être effectué qu'avec le logiciel Pix4D et celle de la ladybug uniquement

² c.f. <http://www.agisoft.com/buy/online-store/>

avec le logiciel Agisoft. Pour la Ladybug, le référencement n'a malheureusement pas pu être fait correctement, il n'y aura donc pas de contrôle du référencement.

Pour l'extérieur, la qualité du référencement des photos Canon est en-dessous de 1cm pour environ le 90% des points (Figure 18).

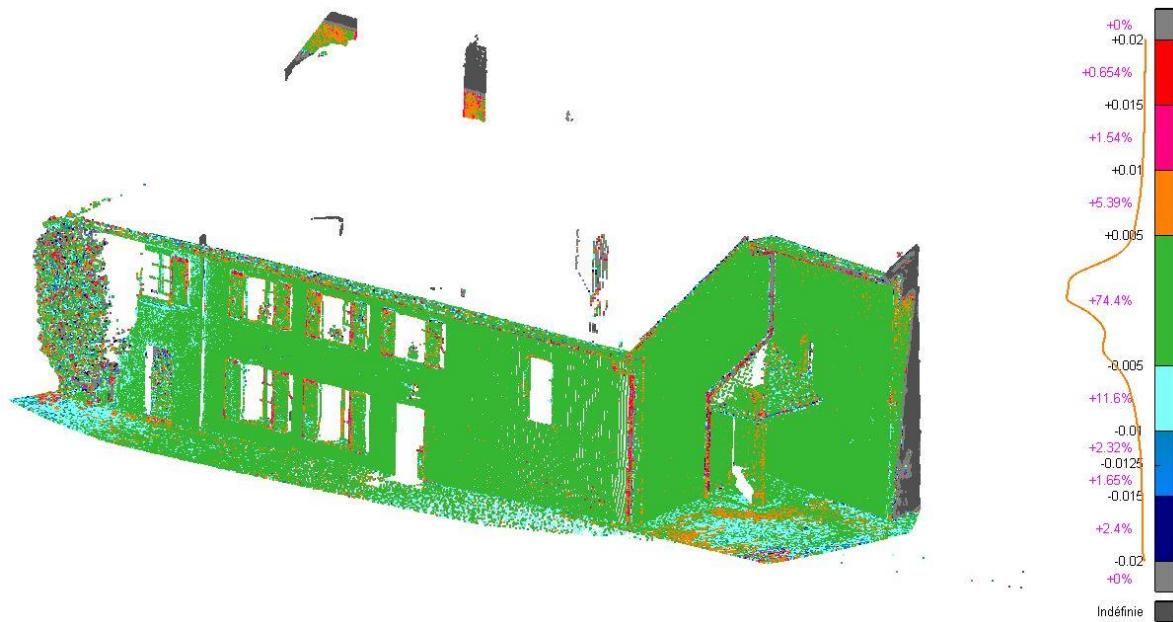


Figure 18 Qualité du référencement du nuage photogrammétrique extérieur

Pour l'intérieur, la différence entre le nuage photogrammétrique et le scan du MS60 est souvent plus grande que 1 centimètre. On pourrait croire qu'il s'agit d'un mauvais référencement du nuage mais la courbe de Gauss est centrée en 0. Ici, il s'agit apparemment de bruit de nuage pouvant atteindre 4cm. Ce bruit vient d'une mauvaise corrélation d'image due au mur blanc et lisse de l'intérieur de l'église (voir photo à l'annexe 8 page 2).

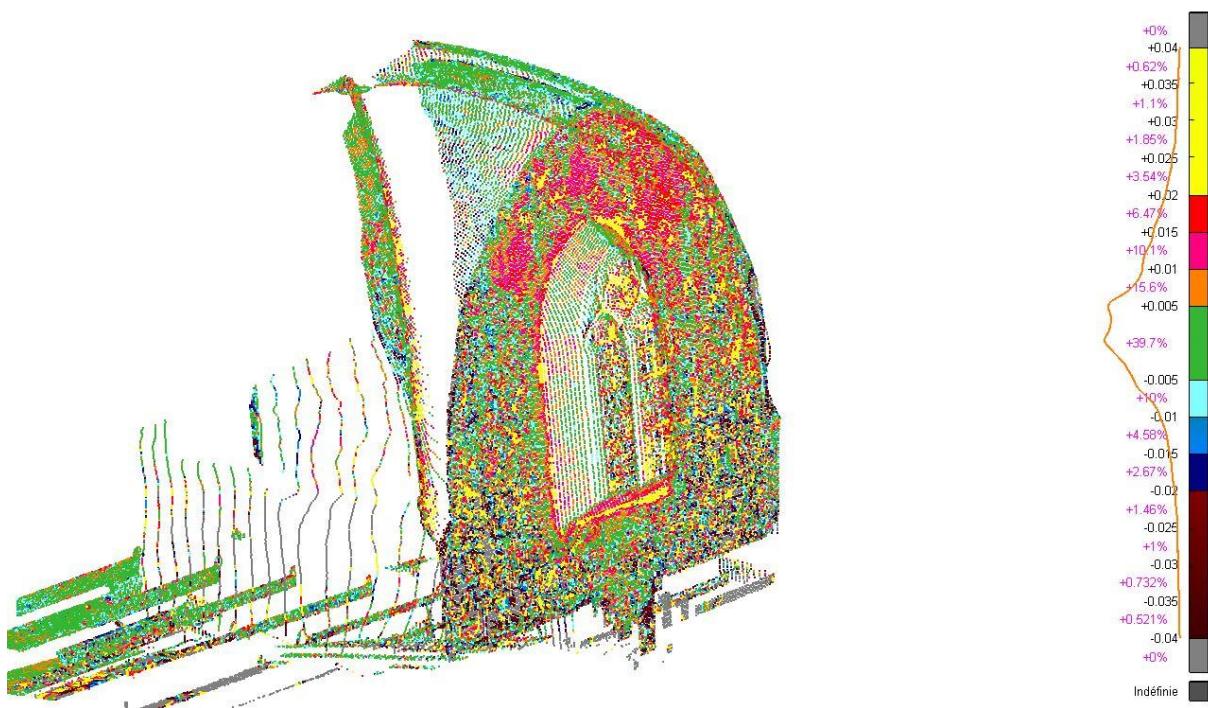


Figure 19 Qualité du référencement du nuage photogrammétrique intérieur

Le traitement n°8 a été effectué avec un vol au drone Parrot Bebop de la façade et du toit. Au contraire des autres nuages, il a été comparé avec le référencement sur cibles des nuages du P40. Ce choix a été fait car le P40 a scanné le toit et la qualité de son référencement a été validé avec une erreur moyenne à 1-2mm(Figure 16 page 15). Le référencement a une erreur pouvant aller jusqu'à 10cm (Figure 20). La courbe de Gauss est centrée vers -7mm. Le référencement est donc de moins bonne qualité et le nuage est apparemment très bruité avec des erreurs pouvant aller jusqu'à 5cm.

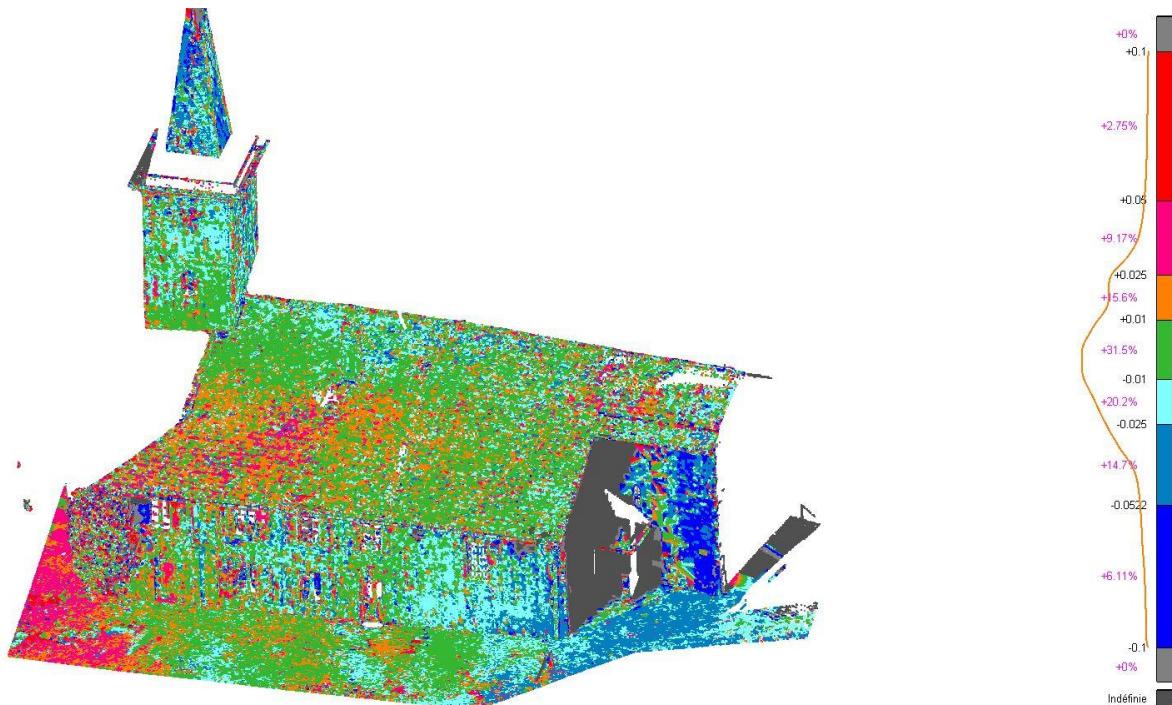


Figure 20 Qualité du référencement du nuage du drone Parrot Bebop

Ce mauvais référencement n'est pas dû à la photogrammétrie aérienne mais à la qualité des images du drone. Un appareil ayant une meilleure résolution d'image permettrait d'avoir une meilleure aérotriangulation donc un meilleur référencement. Il s'agit actuellement d'une hypothèse. Par manque de temps, il a malheureusement été impossible de confirmer cette hypothèse avec un second vol avec un autre drone.

5.4. PHOTOGRAMMÉTRIE ET SCANNER

Ce traitement est un premier calcul d'aérotriangulation pour l'extérieur de l'église avec un référencement sur les cibles. Ensuite, en assemblant les différents nuages Faro de l'intérieur avec le nuage photogrammétrique, cela permet d'avoir un nuage référencé à l'intérieur et l'extérieur. Ce traitement a été testé car la photogrammétrie n'est pas précise à l'intérieur (voir Figure 19 page 18). Ainsi en réunissant le scan et la photo, cela permet de combiner les 2 méthodes. A la Figure 21, il est montré la position des nuages. En bleu, il s'agit du nuage référencé de la photogrammétrie de l'extérieur. En rouge, c'est le scan Faro qui permet la liaison intérieur-extérieur et en orange et jaune les 2 scans Faro à l'intérieur.

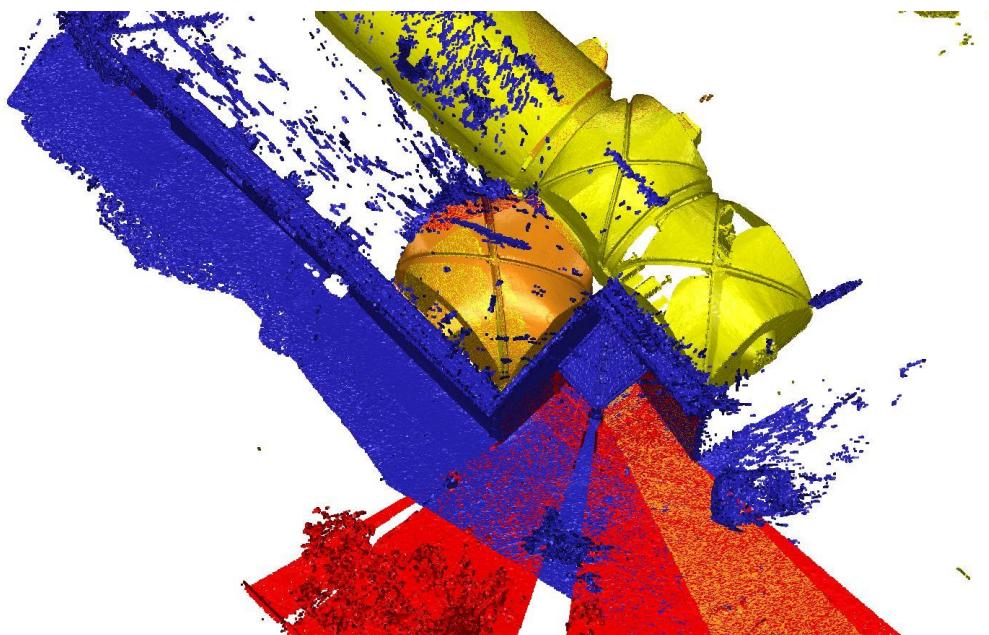


Figure 21 Position des différents nuages

Dans un premier temps, il n'a été effectué l'assemblage des nuages qu'avec une contrainte de nuage-nuage. La qualité du référencement intérieur a été contrôlée en le comparant avec le scan effectué au MS60 depuis 8004 (voir Figure 21 page 19). L'erreur se situe vers 1cm pour le planimétrie et l'altimétrie comme montré dans la Figure 22. Le référencement de la photogrammétrie à l'extérieur n'a pas été contrôlé car cela a déjà été effectué dans la chapitre 5.3.2 page 16.

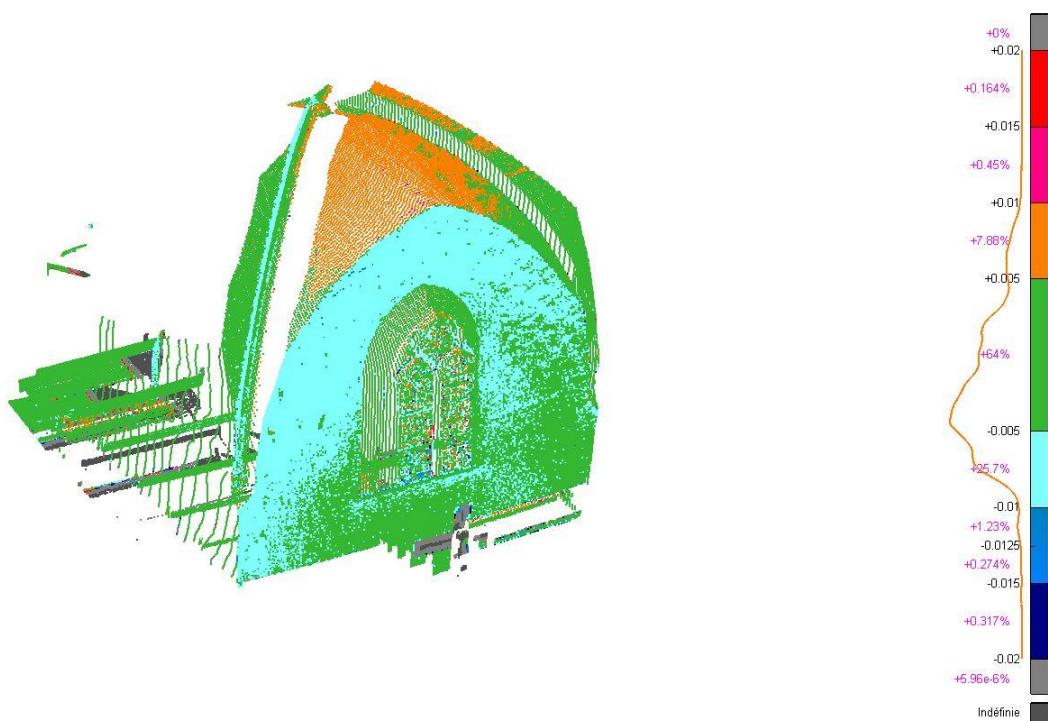


Figure 22 Qualité du référencement du nuage Faro sur le nuage photogrammétrique

Dans un deuxième temps, une contrainte a été rajouté en ajoutant des points de liaison entre les scans et la photogrammétrie. Cela veut dire qu'il a été saisi des points dans les deux nuages pour en améliorer la liaison entre deux méthodes d'acquisition (photogrammétrie et scanner). En saisissant des points de liaison (cibles placées sur le mur mais dont les coordonnées ne sont pas données) entre les différents nuages, il est possible d'améliorer le référencement. Dans la Figure 23, l'erreur moyenne est d'environ 5mm avec 11% des points entre 5 et 10mm

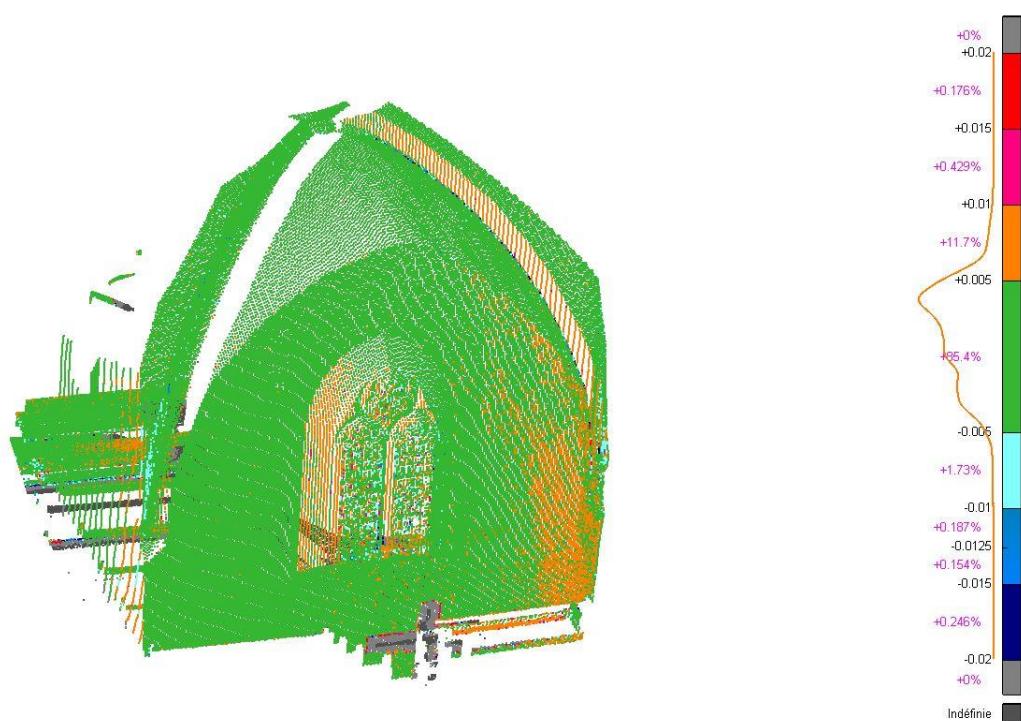


Figure 23 Qualité du référencement du nuage Faro sur le nuage photogrammétrique avec des cibles liaisons

Il est également possible que, si la liaison entre la photogrammétrie et les scans se faisait sur 2 endroits (2 entrées de l'église), le référencement fonctionnerait mieux car il s'agirait d'une sorte de polygonale fermée des scans intérieurs.

5.5.3 CONCLUSION

Traitements	Types de référencement	Appareils	Centre de la courbe de Gauss appr. [mm]	Erreur moyenne appr. [mm]	Nbre de scan / photo	Durée sur le terrain	Durée de travail au bureau	Durée facturable	Durée de calcul de l'ordinateur	Couverture
1	Sur cibles	P40	0	1	2	50min + 25min au MS60 pour lever les cibles	2min + 5min d'import	1h22	0	Extérieur
3	Sur cibles	Faro Focus 3D 120	-1	3	5	1h + 50min au MS60 pour lever les cibles	15min + 15min d'import	2h20	0	Intérieur/Extérieur
2	Sur nuages	P40	-2	3	2	25min + 20min au MS60 pour obtenir un nuage	5min + 5min d'import	55min	0	Extérieur
4	Sur nuages	Faro Focus 3D 120	-1	3	5	1h + 20min au MS60 pour obtenir un nuage	11min + 15min d'import	1h45	0	Intérieur/Extérieur
6	Aérotriangulation	Canon EOS 5DS R	0 (intérieur)	5 (intérieur)	176	40min + 50min au MS60 pour lever les cibles	25min	2h	>6h	Intérieur/Extérieur
			0 (extérieur)	12 (extérieur)						
8	Aérotriangulation	Bebop	0	25	52	20min + 50min au MS60 pour lever les cibles	15min	1h25	~20min	Extérieur
10	Aérotriangulation + sur nuage	Canon EOS 5DS R + Faro	2	5	50 photos 3 scans	15min de photos + 30min de Faro + 20min au MS60 pour les cibles	17min aéro + 10min cyclone + 15min d'import	1h45	>4h	Extérieur/Intérieur

Figure 24 Récapitulatif de la qualité des référencements

Les référencements des scanners (nuage-nuage / cibles) sont plus précis que 5mm. Les 2 méthodes sont très peu différentes avec un léger avantage au niveau de sa qualité pour le référencement sur cible. Au niveau du temps consacré par un collaborateur, le référencement sur nuage est plus court à mettre en place (approximativement 35 minutes). Le mandant n'ayant pas de MS60 qui permet d'obtenir un nuage déjà référencé, il ne pourra pas directement faire du nuage-nuage. La meilleure méthode sur le chantier serait alors de relever, depuis une station totale, plusieurs points pouvant référencer un scan puis assembler les autres scans sur ce scan référencé. Il est également possible de mettre quelques cibles (pas obligatoirement 3 par scan) de liaison pour assurer un bon traitement. Comme contrôle du référencement, il serait bien d'avoir, sur le scan le plus loin (en terme de combinaison de nuage) du scan référencé sur les cibles, un lien avec l'extérieur (cible connue en coordonnées vu par une fenêtre). Ainsi, il serait possible de valider l'assemblage nuage-nuage.

Par contre, cette méthode n'est pas applicable pour tous les chantiers. Par exemple, dans des tunnels ou dans des zones végétales, le référencement via nuage-nuage est déconseillé. Pour un tunnel, le nuage-nuage ne fonctionnerait pas car il n'y aurait aucun mur qui permettrait d'indiquer un déplacement du scan. En se déplaçant dans un tunnel, le mur d'un endroit et quasiment identique au mur vu plus loin dans le tunnel alors le programme ne pourra pas en calculer la différence de position des 2 nuages. Dans ce genre de cas, il faut obligatoirement utiliser des cibles pour l'entier des scans.

La traitement n°10 est également une méthode de traitement rapide qui permet d'effectuer rapidement le référencement d'un chantier en combinant les méthodes. Il faut par contre être sûr que la photogrammétrie fonctionne bien sur les murs extérieurs du bâtiment. Cette méthode prend le même temps qu'avec le scanner mais avec une précision moins bonne mais toujours en-dessous de 1cm.

L'utilisation du drone Bebop est déconseillée au vu de sa précision.

L'aérotriangulation est de moins bonne qualité par rapport au scanner mais reste en-dessous du centimètre pour l'extérieur. Pour un référencement, il n'y a aucun gain de temps pour la durée de travail à faire pour obtenir un nuage référencé complet par rapport au nuage-nuage du Faro.

6. 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 effectués (scanner héron mobile, scanner Faro et des vidéos à l'appareil photo). Dans la Figure 25, il est indiqué les traitements qui ont été effectués pour le clocher. Ces traitements ont été choisis pour le clocher de par leur facilité d'acquisition dans ce genre de milieu.

11	Scanner	Faro	Coordonnées de stations connues / assemblage de nuage
12	Scanner mobile	Héron	Via un nuage référencé
13	Photogrammétrie	Canon EOS 5DS R	Facteur d'échelle / via un nuage référencé

Figure 25 Traitement testé dans le clocher

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 se 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 26 Photos du clocher (escalier de l'entrée et l'intérieur du clocher)

6.1. 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 27).

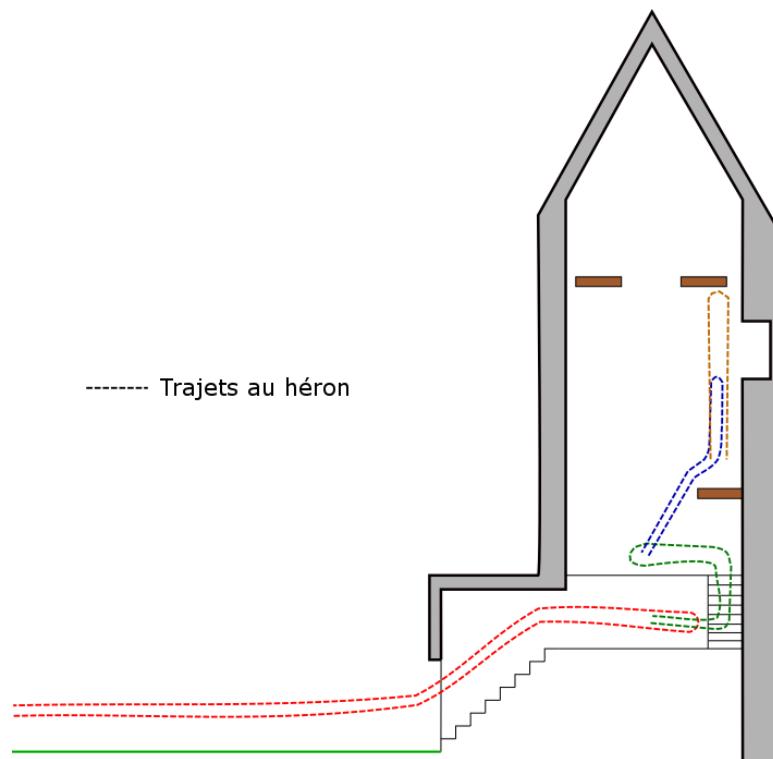


Figure 27 Trajets effectués au héron

Le traitement n'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 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 n'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 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.

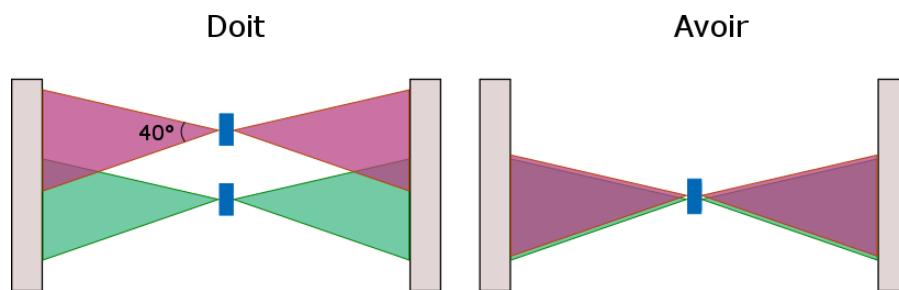


Figure 28 Problématique du héron dans le clocher

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.

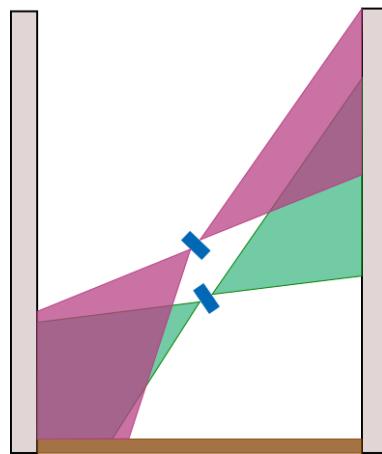


Figure 29 Schéma de scan au héron

6.2. FARO

Dans le traitement du Faro, nous connaissons la position des 4 premiers scans car, comme expliqué dans le chapitre 4.4 page 9, ils ont été mis sur de station MS60. Le programme utilisé a été cyclone.

Pour positionner approximativement les scans entre eux, des contraintes de type nuage-nuage ont été saisis pour les 4 premiers scans. Pour les suivants, il a été difficile de les positionner à l'œil à cause du 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 (Figure 30). A également été saisis les points de la position des stations connues en coordonnées pour leur rajouter une contrainte.

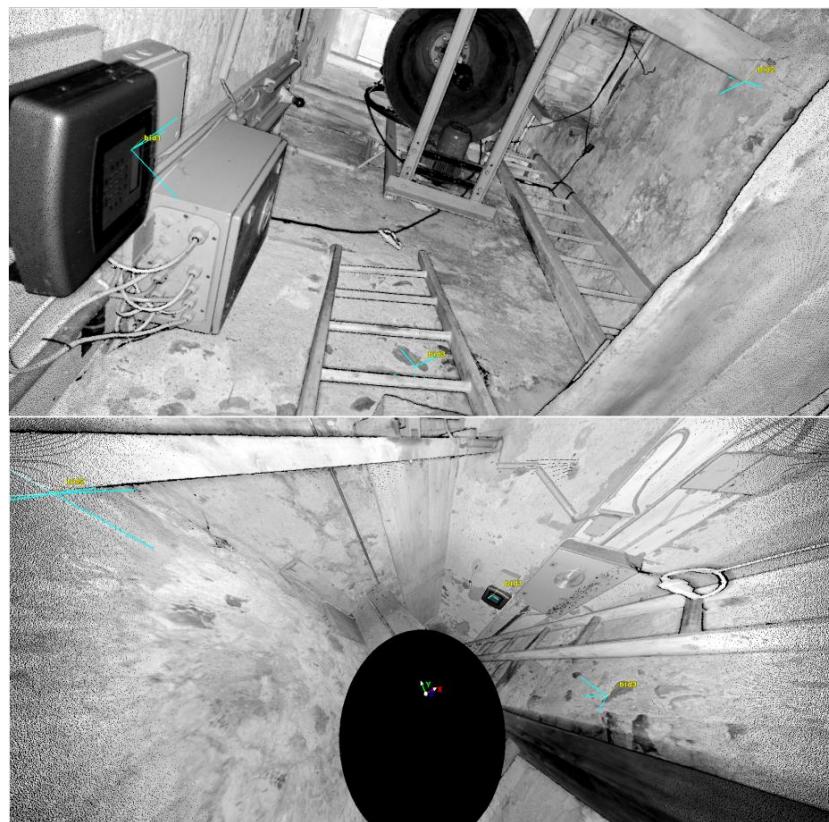


Figure 30 Exemple de sélection de 3 points communs entre 2 scans

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	Weight	Error	Error Vector	Group Error	Group Error Vector
Cloud/Mes...	Clocher_001	Clocher_002	1.0000	0.000 m	aligned [0.013 m]	0.000 m	aligned [0.013 m]
Cloud/Mes...	Clocher_002	Clocher_003	1.0000	0.001 m	aligned [0.008 m]	0.000 m	aligned [0.008 m]
Cloud/Mes...	Clocher_003	Clocher_004	1.0000	0.000 m	aligned [0.009 m]	0.000 m	aligned [0.009 m]
Cloud/Mes...	Clocher_004	Clocher_005	1.0000	0.000 m	aligned [0.008 m]	0.000 m	aligned [0.008 m]
Cloud/Mes...	Clocher_005	Clocher_006	1.0000	0.000 m	aligned [0.010 m]	0.000 m	aligned [0.010 m]
Cloud/Mes...	Clocher_006	Clocher_007	1.0000	0.001 m	aligned [0.009 m]	0.001 m	aligned [0.009 m]
Cloud/Mes...	Clocher_006	Clocher_008	1.0000	0.001 m	aligned [0.010 m]	0.001 m	aligned [0.010 m]
Cloud/Mes...	Clocher_007	Clocher_008	1.0000	0.000 m	aligned [0.012 m]	0.000 m	aligned [0.012 m]
Cloud/Mes...	Clocher_007	Clocher_009	1.0000	0.001 m	aligned [0.010 m]	0.001 m	aligned [0.010 m]
Cloud/Mes...	Clocher_007	Clocher_010	1.0000	0.001 m	aligned [0.008 m]	0.001 m	aligned [0.008 m]
Cloud/Mes...	Clocher_009	Clocher_010	1.0000	0.001 m	aligned [0.009 m]	0.001 m	aligned [0.009 m]
Clocher_001	Clocher_001	coord-st.txt	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/a	n/a
Clocher_002	Clocher_002	coord-st.txt	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/a	n/a
Clocher_003	Clocher_003	coord-st.txt	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/a	n/a
Clocher_004	Clocher_004	coord-st.txt	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	n/a	n/a
bid3	Clocher_006	Clocher_007	0.2000	0.007 m	(-0.006, -0.001, 0.003) m	0.007 m	(-0.005, -0.003, 0.003) m
bid1	Clocher_006	Clocher_007	0.2000	0.006 m	(-0.002, 0.005, -0.003) m	0.006 m	(-0.004, 0.004, -0.003) m
bid2	Clocher_006	Clocher_007	0.2000	0.005 m	(-0.003, -0.003, -0.002) m	0.005 m	(-0.002, -0.004, -0.002) m
bid1	Clocher_006	Clocher_008	0.2000	0.008 m	(0.001, 0.003, -0.007) m	0.008 m	(0.000, 0.003, -0.007) m
bid4	Clocher_007	Clocher_008	0.2000	0.010 m	(-0.005, 0.005, 0.007) m	0.010 m	(-0.006, 0.003, 0.007) m
bid1	Clocher_007	Clocher_008	0.2000	0.006 m	(0.003, -0.002, -0.004) m	0.006 m	(0.004, -0.001, -0.004) m
bid8	Clocher_007	Clocher_010	0.2000	0.003 m	(0.003, 0.000, 0.001) m	0.003 m	(0.002, 0.001, 0.001) m
bid7	Clocher_007	Clocher_009	0.2000	0.003 m	(0.000, 0.001, 0.002) m	0.003 m	(0.000, 0.001, 0.002) m
bid8	Clocher_007	Clocher_009	0.2000	0.003 m	(0.003, 0.001, 0.000) m	0.003 m	(0.002, 0.002, 0.000) m
bid6	Clocher_007	Clocher_009	0.2000	0.004 m	(0.004, 0.001, 0.001) m	0.004 m	(0.003, 0.002, 0.001) m
bid5	Clocher_007	Clocher_008	0.2000	0.003 m	(-0.001, 0.002, -0.001) m	0.003 m	(-0.002, 0.001, -0.001) m
bid8	Clocher_009	Clocher_010	0.2000	0.001 m	(0.000, -0.001, 0.000) m	0.001 m	(0.000, -0.001, 0.000) m
bid10	Clocher_009	Clocher_010	0.2000	0.004 m	(-0.003, -0.001, 0.002) m	0.004 m	(-0.003, -0.002, 0.002) m
bid9	Clocher_009	Clocher_010	0.2000	0.005 m	(-0.004, -0.001, 0.003) m	0.005 m	(-0.003, -0.003, 0.003) m

Figure 31 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 une fourchette justifiable par le fait que le pointé des points était approximatif. Par contre, l'erreur de nuage-nuage sont de l'ordre de 1 mm et l'erreur de vecteur d'environ 1cm pour tous les scans.

Un contrôle visuel peut également être effectué en regardant des coupes dans le nuage. Il ne faut pas qu'il y ait des lignes de points parallèles. Ce n'est pas le cas.

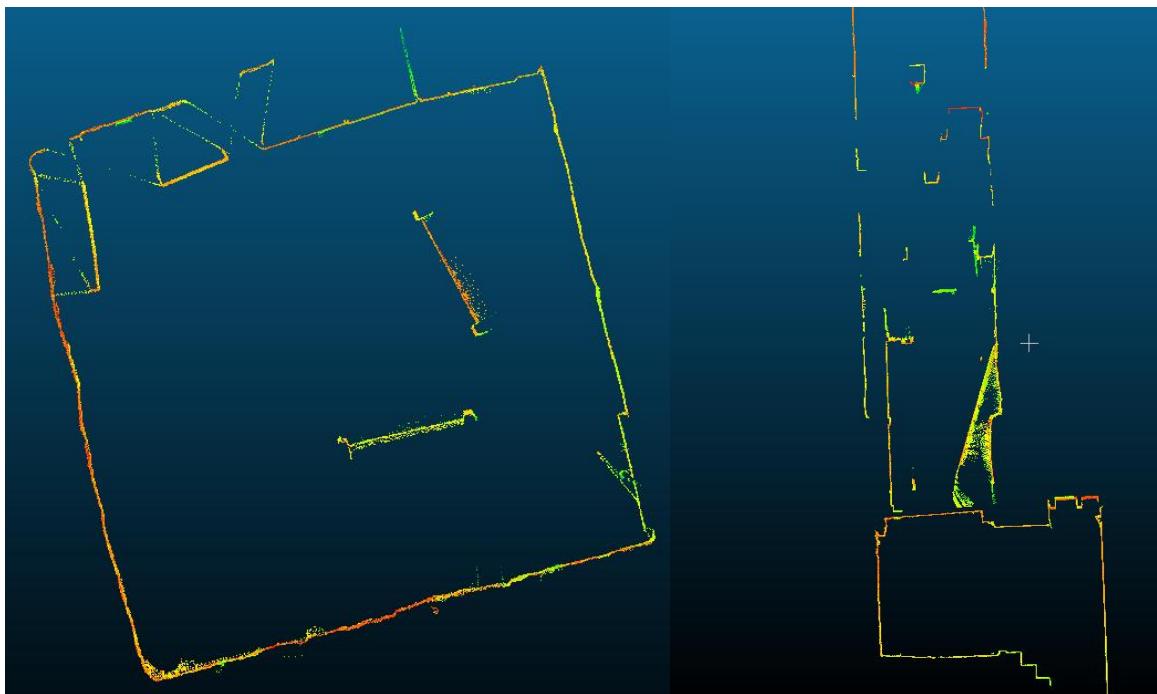


Figure 32 Coupe du clocher effectué avec CloudCompare

6.3. VIDÉO CANON EOS 5DS R

4 vidéos ont été prises 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 fait 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'une taille d'environ 15m. Nous aurions alors une erreur de 7.5cm. Le meilleur moyen est de créer 2 points facilement reconnaissables dans les scans Faro et dans les photos. On peut alors déduire la distance entre ses 2 points et les saisir dans notre chantier.

6.4. COMPARAISON

Pour contrôler le début du référencement du Faro, un scan au MS60 a été effectué sur la station 8007. Ci-joint, le nuage de point de ladite station en bleu avec les nuages Faro fusionnés. Ce scan ne contrôle le référencement du Faro que pour la partie basse du clocher. Vu le résultat de la comparaison, le calage joue très bien (<5mm). Par contre, il faut rester objectif sur cette comparaison car les 2 scan (MS60 / Faro) ont été effectués depuis la même position et ne sont donc pas indépendant. Il est donc logique d'arriver au même résultat. Un vrai contrôle aurait été d'avoir un scan plus haut dans le clocher avec le MS60.

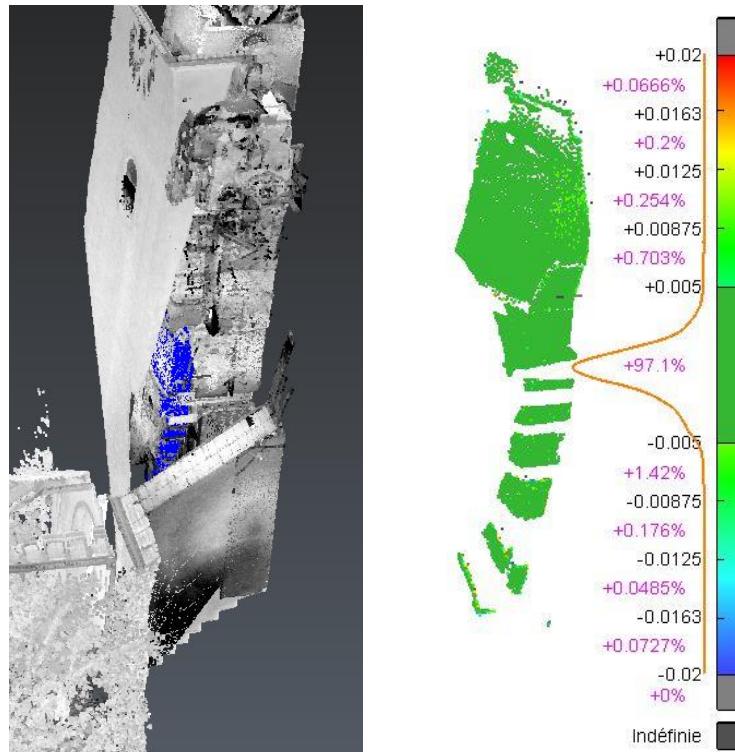


Figure 33 Contrôle des scans dans le clocher (position du scan du MS60 en bleu / comparaison entre les 2 nuages

Par contre, un réel contrôle peut être effectué sur des fenêtres pour voir si le calage nuage-nuage dans le clocher a fonctionné.



Figure 34 Fenêtres scannées depuis l'extérieur et l'intérieur

Le contrôle a été effectué visuellement à l'aide de coupe horizontale vers les fenêtres. Dans les coupes ci-dessous, les fenêtres à l'intérieur sont aux bons endroits par rapport aux mêmes fenêtres à l'extérieur levées au scan du P40 et au Faro. Cela valide donc également le référencement car la position de la fenêtre est au même endroit que le levé du P40.

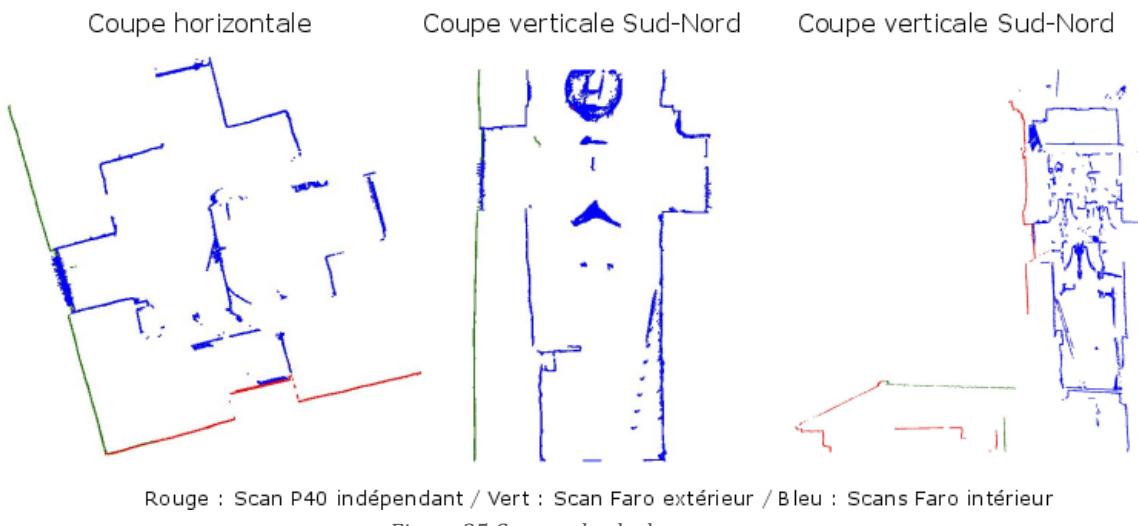


Figure 35 Coups du clocher

En comparant les 2 résultats de l'intérieur du clocher (Faro/photogrammétrie), il y a des différences rien que visuellement. Le nuage photogrammétrique est ainsi réputé faux en tenant compte des divers contrôles effectués précédemment pour les nuages Faro. Les coupes permettent de laisser deviner qu'il y a eu un problème dans l'échelle et que l'aérotriangulation a dû modifier l'échelle relative durant la montée des escaliers pour accéder au clocher. Sur la Figure 36, il est possible de voir que le nuage photogrammétrique (violet) coïncide avec le nuage Faro (jaune) dans les escaliers. Par contre, dès qu'on va plus loin que les escaliers, il y a un mauvais facteur d'échelle. Le nuage photogrammétrique est plus petit que le nuage Faro.

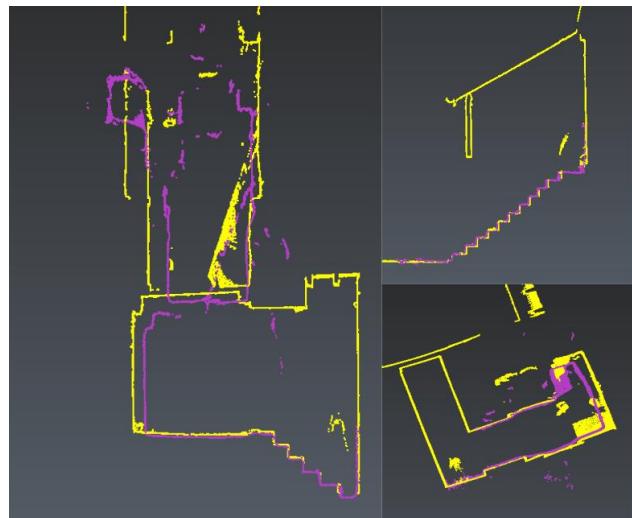


Figure 36 Comparaison des nuages Faro et photogrammétique du clocher

Sur les 3 méthodes testées dans le clocher, il n'y a qu'une méthode qui a fonctionné. Il s'agit de l'utilisation de petit scanner de type Faro ou BLK et d'assembler les différents scans avec du nuage-nuage. Il doit être possible d'utiliser les 2 autres méthodes mais il s'agirait de faire différemment l'acquisition ou le traitement. Mais ces 2 méthodes n'ont pas été approfondie plus loin car une méthode rapide et de qualité a été démontrée. Il n'y avait pas lieu de continuer à faire des traitements sur les 2 autres méthodes qui demanderaient beaucoup de temps de bureau et dont le résultat n'est pas garanti. Ce ne serait alors pas économique dans un cadre professionnel.

Le référencement de l'entier des nuages peut être fait soit via des cibles, soit via plusieurs scans positionnés sur des trépieds connus en coordonnées (minimum 2 pour pouvoir orienter les nuages) ou soit via un nuage déjà référencé dans le bon système (scan au MS60).

7. QUALITÉ DES NUAGES

La qualité du nuage correspond à son bruit et sa densité. Cette qualité ne dépend en rien du référencement. Il sera donc effectué par nuage (P40 / Faro / photogrammétrie) un seul test de qualité et pas un test de qualité par référencement. Le référencement choisi des nuages scanners pour effectuer ce test est le référencement sur cible car, comme expliqué au chapitre 5.5 page 21, il est le plus précis.

Pour les scanners, le bruit sera uniquement testé à l'extérieur car le bruit sera le même à l'intérieur. Pour la photogrammétrie, vu que le nuage dépend de la corrélation d'images, les nuages n'ont pas le même bruit en fonction de la texture des objets.

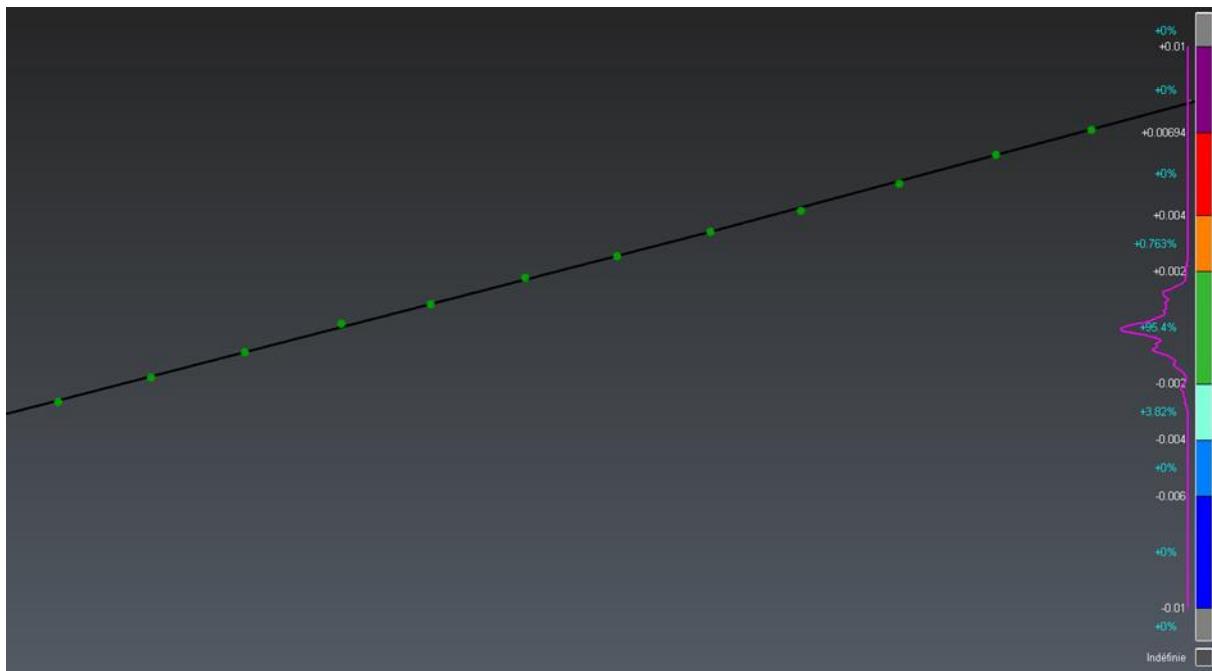
Bruit et densité

Pour le bruit, une ligne horizontale a été créée sur la façade sud extérieur. Ensuite, une extrusion de la ligne sur 2cm dans le sens de la hauteur de la façade permet d'obtenir un maillage pour la comparaison des différents nuages. La position du dit maillage est indiquée dans la Figure 37.



Figure 37 Position de la comparaison du bruit extérieur

En comparant alors le maillage avec un nuage de points, il est possible de voir le bruit du nuage par rapport à la ligne horizontale sur la façade. Dans Figure 38 ci-dessous, la comparaison a été faite entre le nuage du MS60 et le maillage. La bruit est extrêmement petit (<2mm). Il est également possible de voir visuellement la densité du nuage de points et de la comparer aux autres (échelle des figures identiques). Il est possible alors de comparer quantitativement la densité en comptant le nombre de points qui ont été comparés avec la surface du maillage.

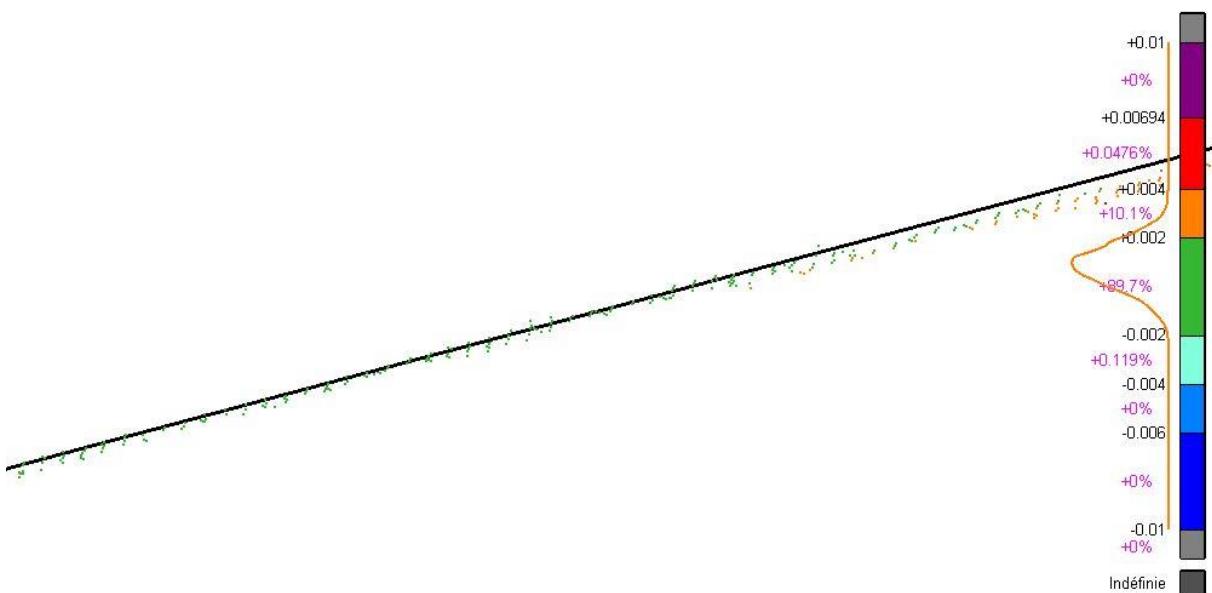


Densité du MS60 : 0.2 pts/cm²

Figure 38 Bruit du MS60

7.1. SCANNER

Sur la Figure 39, le P40 a très peu de bruit. Il se situe autour de 2mm. La courbe de Gauss est centrée à 1-2mm. Il y a donc un petit décalage des 2 nuages. La densité est de 11pts par cm². Cette densité est moins importante pour des scanners car la densité peut être choisie en lançant les scans. Ici, elle a été paramétrée ainsi mais il est possible d'avoir un nuage plus dense ou un nuage moins dense. La densité du scan dépend donc du mandat.



Densité du P40 : 11 pts/cm²

Figure 39 Bruit et densité du nuage P40

Pour le Faro, le bruit est de 1mm plus élevé que celui du P40 et comme pour le P40, la courbe est centrée autour de 1-2mm. Si nous comparons les 2 coupes de nuage, on remarque que la forme

du nuage est identique pour les 2 scanners. Le bruit est ainsi négligeable. Par contre, il est certain que le bruit serait différent sur des textures de type vitrée.

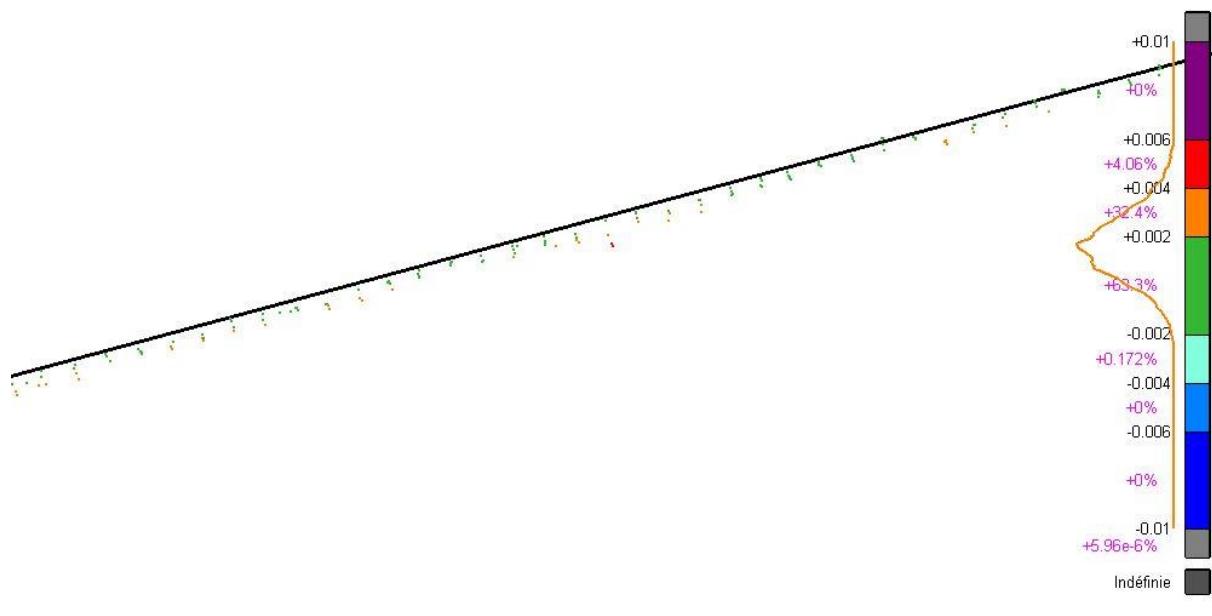


Figure 40 Bruit et densité du nuage Faro

7.2. PHOTOGRAMMÉTRIQUE

Pour la photogrammétrie le bruit et la densité n'est pas similaire en fonction des textures. Donc, il a été fait un test sur la partie extérieur comme pour les scanners (voir Figure 37 page 29) et à 2 endroits pour l'intérieur (voir Figure 42 page 32).

Pour l'extérieur, le bruit est comparable au scanner. Il est de l'ordre de 2-3mm pour le Canon. Pour la densité visuelle, elle n'est pas homogène avec des zones sans point. En moyenne sur cette partie la densité est de 7.5 pts/cm².(voir Figure 43)

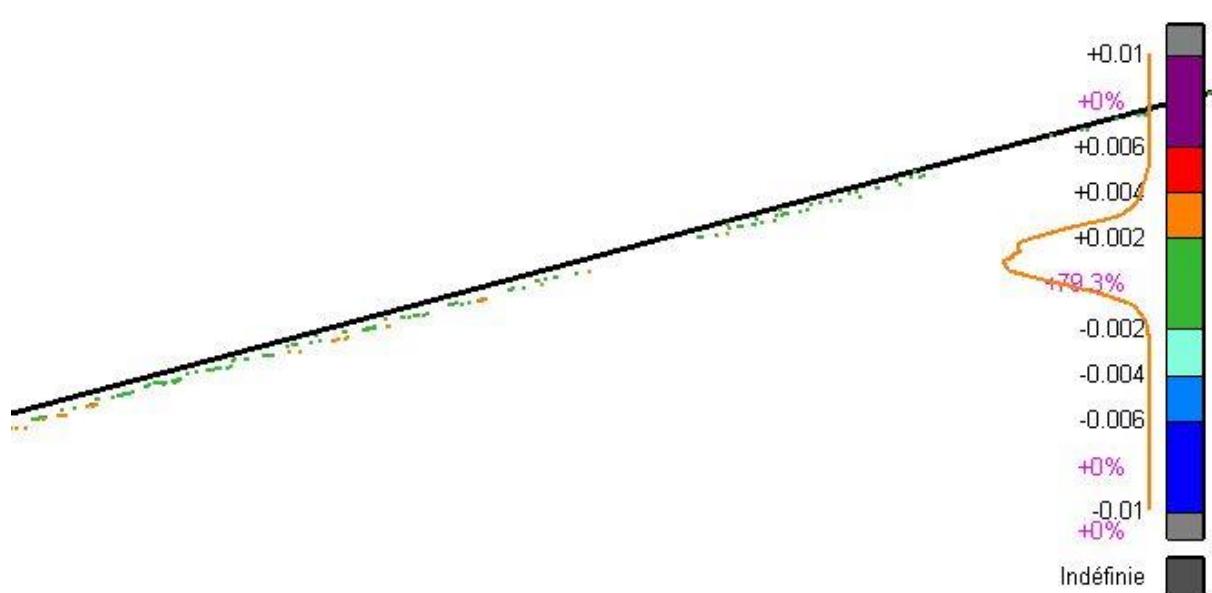


Figure 41 Bruit du nuage photogrammétrique du Canon

Ci-dessous, la position des tests de densité et de bruit sur le nuage intérieur effectué avec la photogrammétrie.

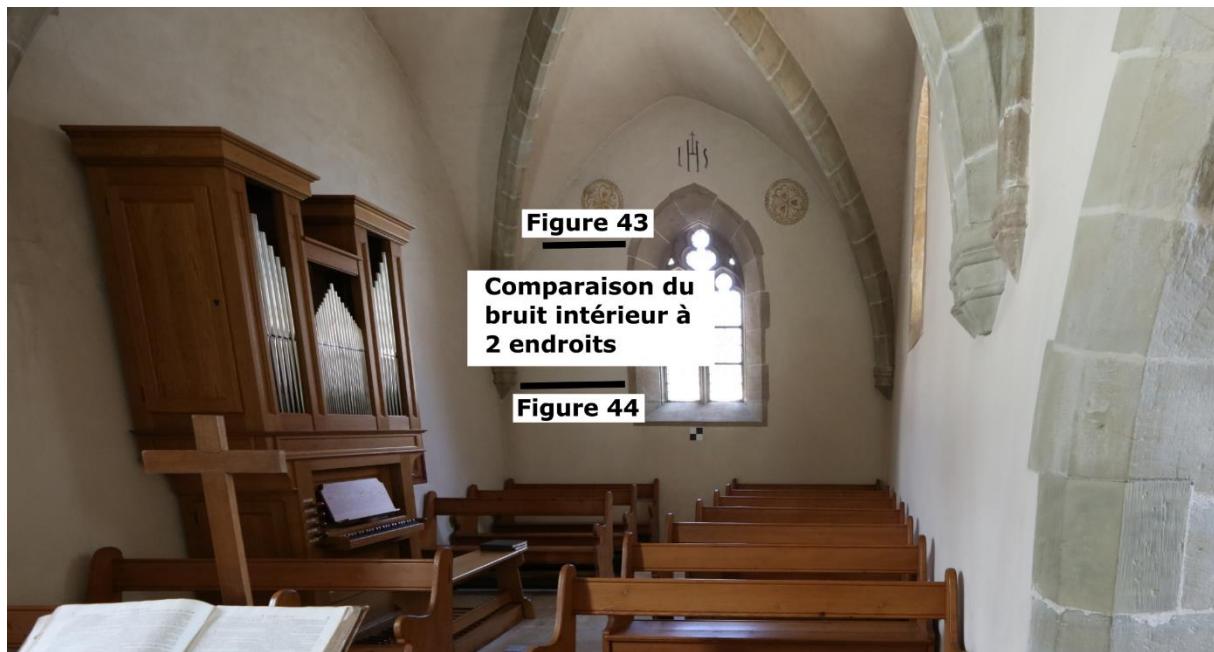
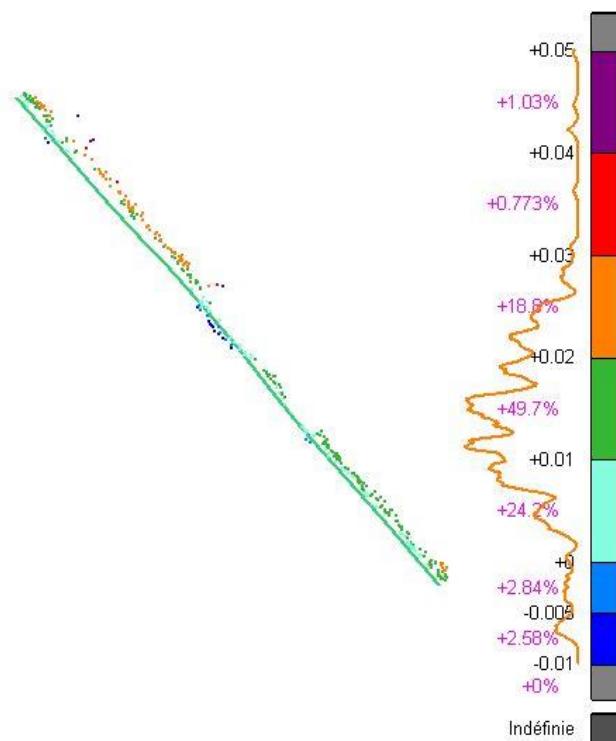


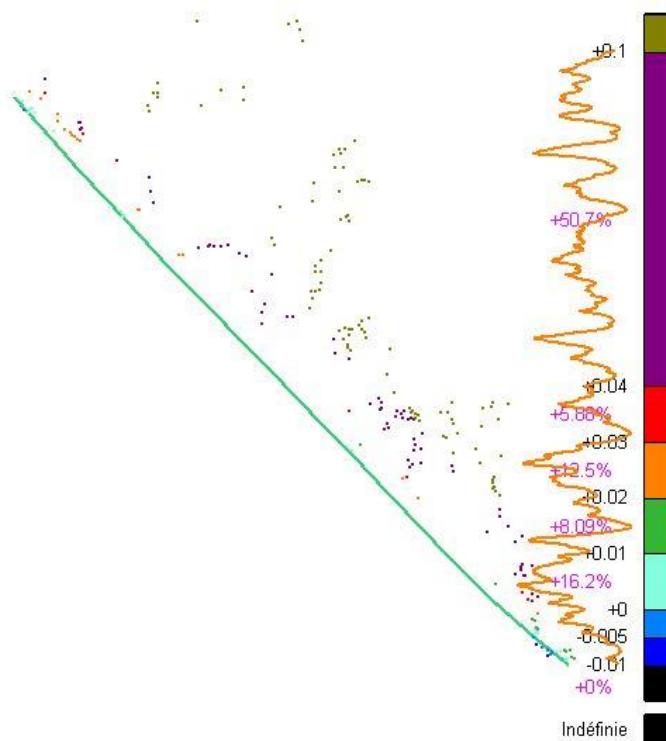
Figure 42 Position de la comparaison du bruit intérieur

Pour le bruit intérieur, il peut atteindre plus de 20cm et la densité est faible avec 1-2 points par cm^2 . Le nuage n'est donc pas de qualité à l'intérieur.



Densité de la photogrammétrie au Canon : 2 pts/cm²

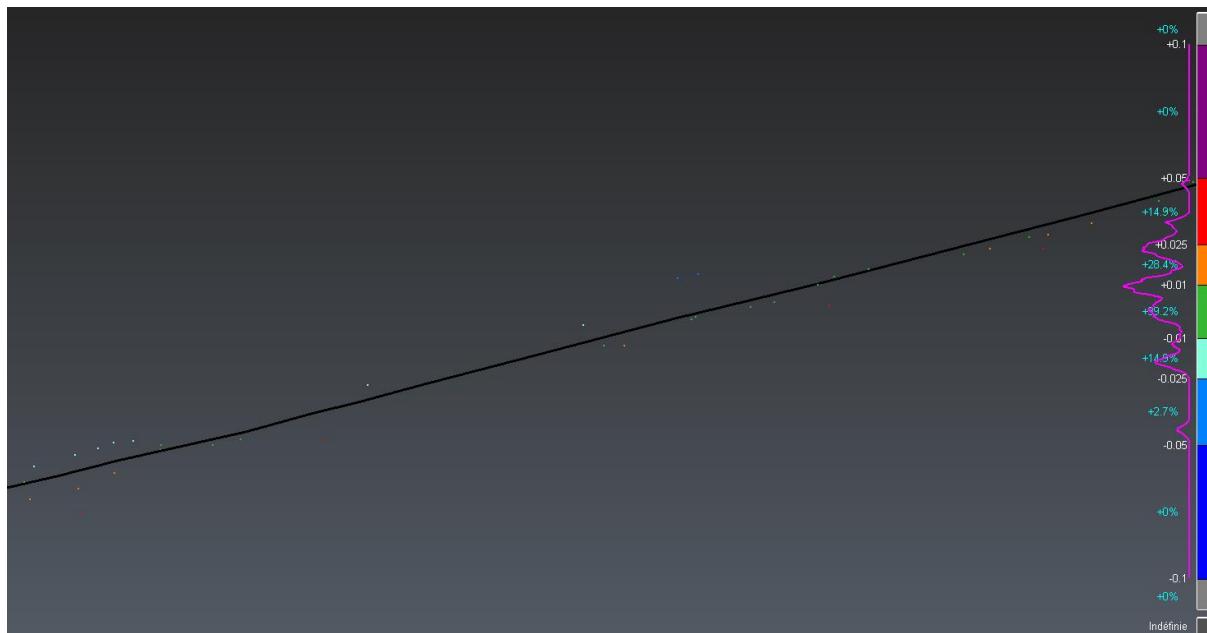
Figure 43 Bruit du nuage photogrammétrique à l'intérieur en haut au Canon



Densité de la photogrammétrie au Canon : 1 pts/cm²

Figure 44 Bruit du nuage photogrammétique à l'intérieur en bas au Canon

Le bruit du drone Bebop est très grand et peu atteindre 5cm. Sa densité est également très faible avec 0.1 point par cm²(Figure 45). Le nuage du drone Bebop est très peu concluant avec un très grand bruit et une faible densité. Il serait intéressant d'utiliser d'autres drones pour les comparer entre eux. Sur la base de ce drone, il est déconseillé de l'utiliser pour de la modélisation de bâtiment. Par contre, il est nécessaire d'utiliser le drone si le mandant veut également avoir la toiture et qu'elle n'est pas visible depuis le sol.



Densité de la photogrammétrie du Bebop : 0.1 pts/cm²

Figure 45 Bruit du nuage photogrammétique du drone bebop

7.3. CONCLUSION

Le bruit est négligeable pour les 2 scanners avec un bruit estimé à 1-2mm. Pour la photogrammétrie, le bruit peut aller de 2-3mm à 10cm selon l'objet.

La densité des scans dépend du paramétrage choisi lors de l'acquisition. Pour la photogrammétrie, la densité dépend de plusieurs éléments comme par exemple la résolution d'image, la texture et le recouvrement. Ainsi la résolution n'est pas homogène sur l'entier du chantier.

Le nuage scanner est donc de meilleure qualité que le nuage photogrammétique. Si nous regardons visuellement le nuage scanner reprend mieux les petits décrochements comme montré sur la Figure 46.

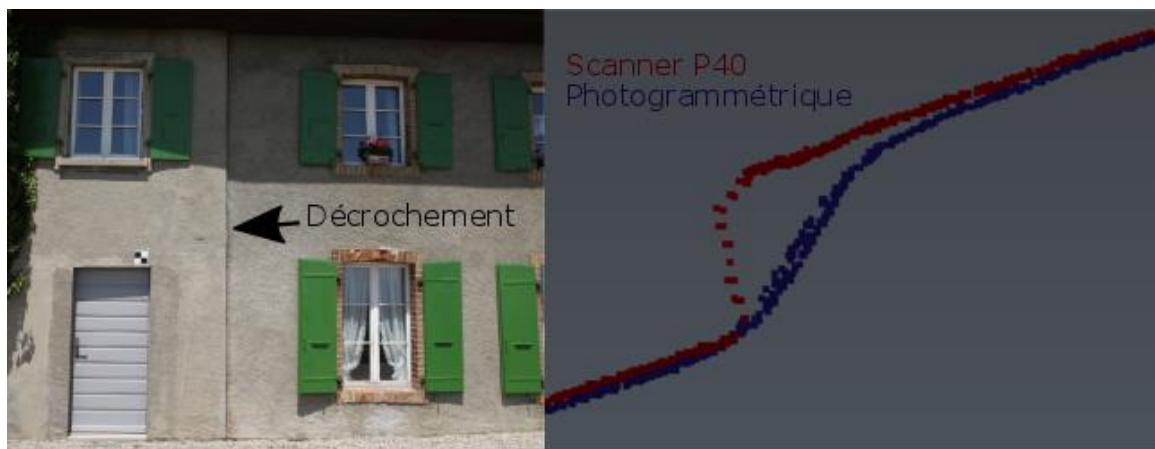


Figure 46 Comparaison de décrochement entre scanner et photogrammétrie

8. MODÉLISATION

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.

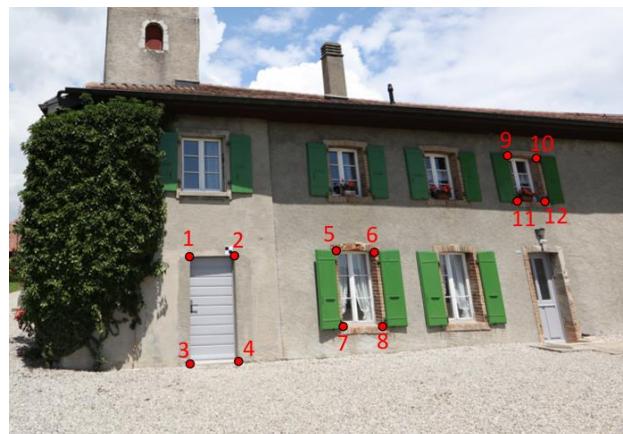


Figure 47 Points des restitutions

Afin de voir si les différences viennent du fait du référencement, une représentation graphique des différences des modélisations complètes 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 (voir annexe 3). Cette analyse a seulement été faite pour la modélisation complète. S'il n'y a pas de problème de référencement à ce moment, il n'y en aura pas pour les autres.

8.1. CHOIX DES MODÉLISATIONS TESTÉES

Traitement	Méthode	Matériel	Type de référencement	Modélisation complète	Modélisation simplifiée	Plan de façade	Modélisation Subcentimétrique
1	Scanner	P40	Via des cibles	Restitution (VirtuSurv) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper	Mise en plan de modélisation Digitaliser sur plan	3DReshaper
2	Scanner	P40	Via un nuage référencés	Restitution (VirtuSurv) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper	Mise en plan de modélisation Digitaliser sur plan	3DReshaper
3	Scanner	Faro	Via des cibles	Restitution (VirtuSurv) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper	Mise en plan de modélisation Digitaliser sur plan	3DReshaper
4	Scanner	Faro	Via un nuage référencés	Restitution (VirtuSurv) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper	Mise en plan de modélisation Digitaliser sur plan	3DReshaper
5	Scanner	P40/Faro	Via des cibles et assemblage de nuage	Restitution (VirtuSurv) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper	Mise en plan de modélisation Digitaliser sur plan	3DReshaper
6	Photogrammétrie	Canon EOS SDS R	Via des cibles	Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper	Mise en plan de modélisation Orthophoto	3DReshaper Maillage texturé Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft)
7	Photogrammétrie	Ladybug	Via des cibles	Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper	Mise en plan de modélisation Orthophoto	3DReshaper Maillage texturé Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft)
8	Photogrammétrie	Drone Bebop	Via des cibles	Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper	Mise en plan de modélisation Orthophoto	3DReshaper Maillage texturé Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft)
9	Scanner / Photogrammétrie	P40 / Canon EOS 5DS R	Via des cibles pour P40 / assemblage de nuage photogrammétrique sur le P40	Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper	Mise en plan de modélisation Orthophoto	3DReshaper Maillage texturé Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft)
10	Photogrammétrie / scanner	Canon EOS SDS R / Faro	Via des cibles / assemblage de nuage Faro intérieur sur la photogrammétrie extérieur	Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft) Contour planaire (3DReshaper) Modélisation (3DReshaper)	Revit 3DReshaper	Mise en plan de modélisation Orthophoto	3DReshaper Maillage texturé Forme (Agisoft) Restitution (Agisoft)

Figure 48 Choix des modélisations

Modélisation complète

Pour cette modélisation, elle sera uniquement faite depuis 2 méthodes de référencement scanner et 2 méthodes de photogrammétrie. Il paraît inutile de multiplier les modélisations qui dépendent du référencement qui a déjà été validé précédemment, du bruit qui change entre appareil et de la densité de points qui change également entre appareil. Ainsi, il sera traité une modélisation complète par appareil. Le choix du référencement s'est fait du point de vue de sa qualité.

Ainsi grâce au changement d'appareil, il sera possible de définir l'importance de la densité des nuages de points scanner pour effectuer une modélisation. Pour rappel, le scan P40 a un nuage avec une densité de 1 point tous les 3mm à 10m et le Faro 1 point tous les 6mm à 10m.

Modélisation simplifiée (2D+1)

Il sera effectué cette modélisation seulement avec le traitement 1 et 4 afin de voir les différences avec des nuages de densité différentes.

Plan de façade

Pour le plan de façade, il sera créé de 3 manières différentes, deux sur des nuages de points et une sur une orthophoto. Les 2 méthodes sur la façade seront uniquement testées pour le traitement 1. L'une de ses méthodes est la mise à plat d'une modélisation et la digitalisation sur un plan. Les méthodes se font dans 3DReshaper.

L'orthophoto a uniquement été effectuée avec l'appareil Canon et pas avec la Ladybug ou le drone. Pour la Ladybug, il a été impossible soit de référencer le projet ou soit d'obtenir un nuage de points denses (annexe 2 page 6). Pour le drone, au vu de la qualité du référencement, du nuage et de la

faible résolution des photos, il est possible d'affirmer que l'orthophoto n'aurait pas été précise voir inutilisable.

Modélisation subcentimétrique

Pour la modélisation subcentimétrique, il sera uniquement testé pour un traitement scanner et un traitement photogrammétrique. La qualité de la restitution de ces éléments sera la même que pour une modélisation complète.

8.2. MODÉLISATION COMPLÈTE

8.2.1. 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 (voir Figure 49). Il suffit ensuite de créer des maillages entre ses différents points pour obtenir la modélisation de la fenêtre.



Figure 49 Modélisation avec meilleures plans

Contour planaire

3DReshaper permet de sortir des contours sur le nuage en fonction de plan extrait. La restitution sera alors effectuée à partir de ce contour (voir Figure 50).

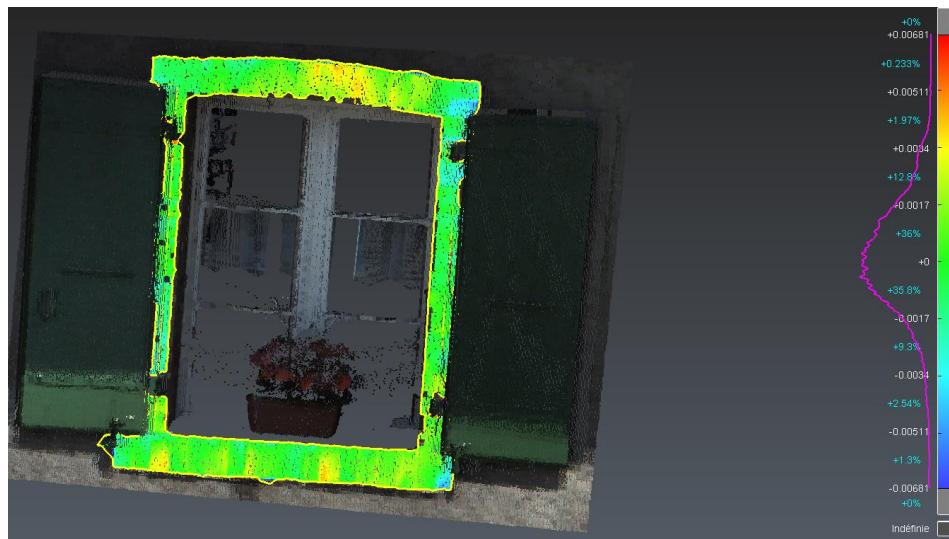


Figure 50 Crédit de contour planaire avec 3DReshaper

La polyligne n'est pas complètement propre mais permet d'avoir une manière facile de trouver le contour de la fenêtre. La polyligne est sur un même plan, il faut donc que la courbe de Gauss du plan soit centrée en 0 avec une faible erreur moyenne comme montré dans la Figure 50 ci-dessus. Ensuite, une manipulation de rééchantillonage de la polyligne permet de réajuster les bords(Voir Figure 51 page 38).

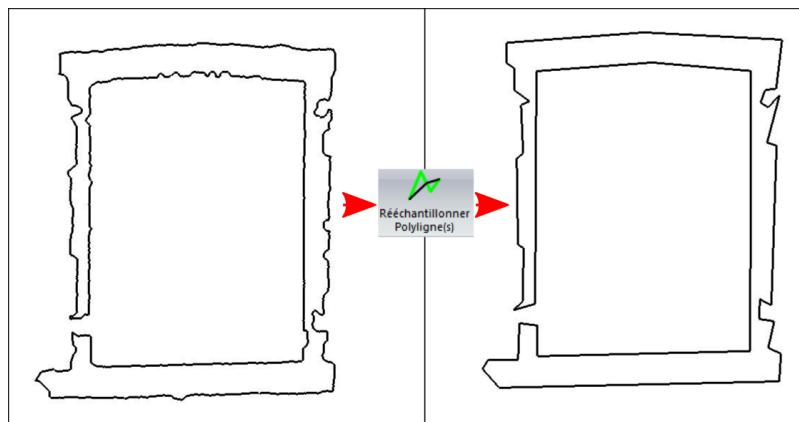


Figure 51 Rééchantillonage de polyligne avec 3DReshaper

Cette technique marche bien dans la plupart des cas. Il est possible d'avoir une faute due à la fonction de contour planaire mais elle se voit rapidement et peut être corrigée en saisissant le point d'une autre manière. Dans la Figure 56 Comparaison des restitutions page 41, nous pouvons voir que cette technique a très bien fonctionné pour toutes les ouvertures testées excepté pour un angle de fenêtre (point 7 Figure 52)



Figure 52 Erreur de contour sur l'angle de la fenêtre

Sur nuage

Cette modélisation restitue la fenêtre en cliquant sur un des points levés du scanner. Donc, il s'agit en fait de choisir quel point est le plus proche de l'angle de la fenêtre et de le choisir pour restituer la fenêtre.

8.2.2. VirtuSurv

VirtuSurv permet de faire de la restitution via une vision depuis le centre de la station scanner effectuée sur le nuage de points. En sélectionnant des points dans une image 360° 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 53 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.

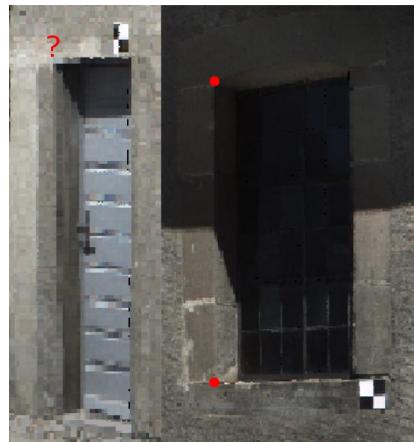


Figure 53 Capture d'écran de la vision dans VirtuSurv

Il a été utilisé les 2 nuages scanners pour effectuer la restitution. 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.

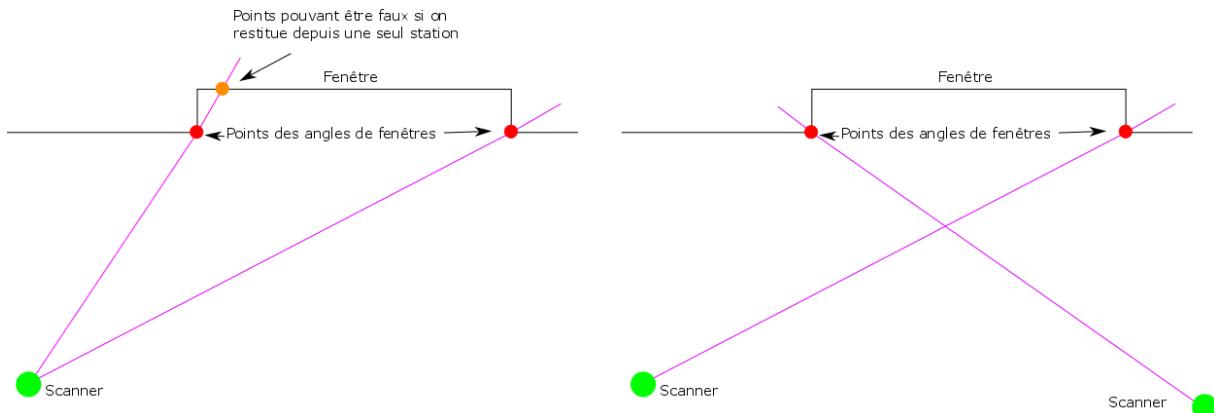


Figure 54 Schéma de restitution de scanner

8.2.3. 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. La restitution a été faite via 2 jeux de photo (Ladybug / Canon EOS 5DS R). Le but est de voir si la différence de résolution des images (voir Figure 55) change grandement la qualité de la restitution. Sur la Figure 56 page 41, l'erreur moyenne de la restitution de la Ladybug est environ 2-3 fois plus grande que celle du Canon.



Figure 55 Différence de résolution (Canon EOS 5DS R / Ladybug 360°)

8.2.4. 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]	Type	Ecart [mm]	
1	Restitution sur les photos du Canon EOS 5DS R (Agisoft)	12	Restitution sur les photos de la Ladybug (Agisoft)	22	Forme sur photo (Agisoft)	11	Modélisation P40 (3DReshaper)	6	Contour planaire P40 (3DReshaper)	10	Restitution de scanner P40 (VirtuSurv)	7	
2		8		18		8		6		2		14	
3		16		20		12		13		5		17	
4		11		30		11		7		4		14	
5		9		29		10		2		8		23	
6		5		25		4		3		8		12	
7		10		20		15		8		26		38	
8		6		42		10		1		9		9	
9		8		9		11		5		5		26	
10		4		12		5		7		6		13	
11		3		9		10		10		9		25	
12		5		16		6		6		6		17	
Moyenne		8		21		10		6		7		18	
Id Points	Type	Ecart [mm]	Type	Ecart [mm]	Type	Ecart [mm]	Type	Ecart [mm]	Type	Ecart [mm]	Type	Ecart [mm]	
1	Sur nuage P40 (3DReshaper)	3	Modélisation Faro (3DReshaper)	7	Contour planaire Faro (3DReshaper)	17	Restitution de scanner Faro (VirtuSurv)	10	Sur nuage Faro (3DReshaper)	12	P40 VirtuSurv sans texturation (P40)	5	
2		3		11		15		13		10		5	
3		9		13		15		11		15		11	
4		7		7		3		9		5		1	
5		3		8		12		25		10		5	
6		3		7		10		3		6		3	
7		8		5		7		30		5		8	
8		6		4		9		15		6		9	
9		4		13		19		10		10		5	
10		5		10		12		15		7		4	
11		7		8		12		13		7		11	
12		11		2		5		8		4		4	
Moyenne		6		8		11		14		8		6	

Figure 56 Comparaison des restitutions

Les écarts de restitution sont environ dans le même ordre de grandeur de différence pour la restitution de Agisoft avec le Canon, la modélisation de forme et les restitutions dans 3DReshaper. L'erreur moyenne est de l'ordre du centimètre pour ces restitutions tandis que la restitution dans VirtuSurv et avec la Ladybug se rapproche de 2 cm. La méthode la plus facilement exécutable est de faire des formes sur Agisoft et la restitution avec VirtuSurv 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 sélection de points dans le scanner pour créer la fenêtre est une manière rapide de faire. Il faut par contre que le nuage soit dense et peu bruité. Il faut également un utilisateur ayant une bonne vision 3D des éléments.

Dans la Figure 56 du dessous, il est possible de voir que le calcul de point avec le Faro est légèrement moins précis (2-4mm) excepté pour VirtuSurv. Le fait que la restitution dans VirtuSurv soit plus précise avec le Faro est due au fait de la qualité de la prise de photo pour la colorisation du nuage (Figure 57).

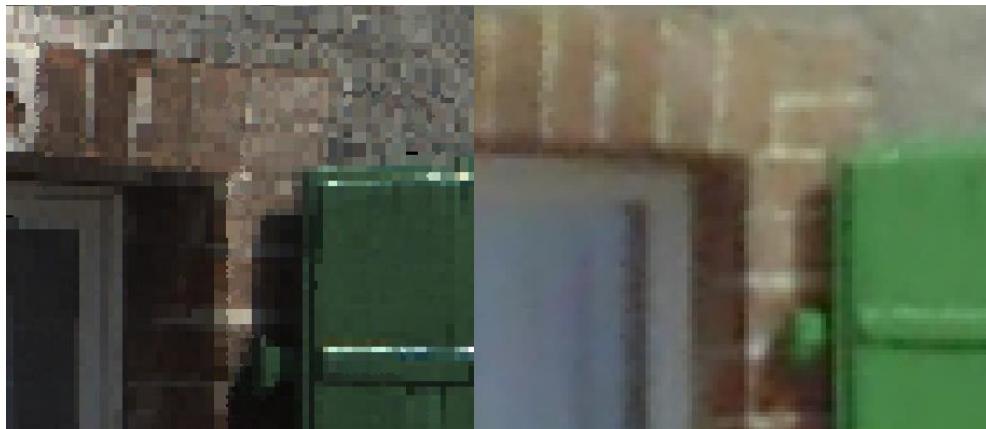


Figure 57 Comparaison VirtuSurv P40 / Faro

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. Sur la Figure 58, le pointé de la restitution dans VirtuSurv (Gauche) est nettement moins précis que le pointé sur de la photogrammétrie (milieu). Cette précision de la restitution m'a étonné au vu de la densité du nuage. Il a alors été essayé de restituer dans VirtuSurv avec un nuage sans texturation. Il est alors beaucoup plus facile de restituer les éléments de la fenêtre (Figure 58 à droite). Dans la Figure 56 en bas à gauche page 41, avec une restitution sans colorisation dans VirtuSurv, nous arrivons à une précision qui est similaire à une modélisation dans 3DReshaper (erreur moyenne de 6mm). La qualité de photo change la résolution du nuage de points dans VirtuSurv. La photo a une résolution plus petite que le nuage, une série de point prend la même couleur et on distingue moins bien l'angle. Sans la texturation, le nuage ne perd pas de résolution dans VirtuSurv car il dépend de l'intensité du retour. Les détails sont alors plus précis visuellement.



Figure 58 Comparaison de pointé d'une restitution (VirtuSurv texturé / Photo / VirtuSurv non texturé)

Ci-dessous, une comparaison du temps pour restituer la fenêtre comprenant les points 9 à 12. Cette durée est déterminée sans prendre en compte les traitements effectués avant (référencement, aérotriangulation, ...).

Type de restitution	Durées approximatives
Restitution sur les photos	2min 40s
Forme sur une photo	40s
Modélisation	5min
Contour planaire	2min 30s
Restitution de scanner	30s
Sur nuage	40s

Figure 59 Durée de restitution pour une fenêtre

La durée la plus courte pour restituer est d'utiliser le logiciel VirtuSurv. La forme sur une photo avec Agisoft est également rapide mais demande la prise de vue photogrammétrique.

Par contre, il est difficile de définir clairement la meilleure méthode de restitution sur des nuages scanners. Cela dépend beaucoup du nuage et de l'élément à restituer. Dans tous les cas, il est conseillé d'avoir un nuage dense en tous cas pour le contour planaire, pour la restitution dans le nuage de points et pour VirtuSurv. Pour la modélisation, un nuage peut dense permet quand même d'obtenir une modélisation précise. Par contre, si un élément n'est pas défini par des plans, il faudrait faire la sélection dans le nuage. Alors il faudrait avoir un nuage dense pour avoir un minimum de décalage entre le point sélectionné et l'élément à restituer.

Il aurait été intéressant d'effectuer une restitution intérieure et de la comparer comme fait pour l'extérieur afin de voir si la photogrammétrie reste d'autant bonne qualité pour la restitution sur des photos dans Agisoft. Il y a également un certain doute sur la qualité de la restitution de forme d'Agisoft pour l'intérieur.

La meilleure restitution reste VirtuSurv qui permet d'obtenir rapidement une restitution 3D avec une grande précision. Il ne faut pas avoir de nuage colorisé pour effectuer la restitution.

8.3. MODÉLISATION SIMPLIFIÉE 2D+1

Pour établir la modélisation 2D+1, il va être utiliser deux programmes que le mandant possède. Un logiciel BIM (REVIT) qui est optimisé pour de la 2D+1 et un logiciel de modélisation, déjà vu précédemment, 3DReshaper.

Pour la modélisation simplifiée, aucun test n'a été effectué avec de la photogrammétrie. Le nuage photogrammétrique est de moins bonne qualité qu'un nuage scanner sans avoir de gain de temps d'acquisition. Dans le cadre de modélisation simplifiée la photogrammétrie n'apporte aucune plus-value car la restitution sur des photos ne donne pas des murs verticaux ou des fenêtres horizontales. Il faudrait alors retraiter les restitutions ce qui reviendrait à la même chose que le traitement dans 3DReshaper. Il également impossible d'intégrer un nuage photogrammétrique dans VirtuSurv pour l'utiliser dans VirtuSurv.

Pour la modélisation simplifiée, il y aura uniquement des tests sur un nuage dense avec un point tous les 3mm (P40) et un nuage avec un point tous les 6mm (Faro).

8.3.1. Revit

L'utilisation complémentaire avec VirtuSurv permet de saisir le référencement du chantier pour REVIT dans le nuage et de définir la position des ouvertures en façade. Ainsi, il est obtenu facilement un mur 2D+1 de la façade sud avec les ouvertures.

8.3.2. 3DReshaper

Malheureusement, il est très compliqué d'obtenir un modélisation 2D+1 avec 3DReshaper. Ce n'est malheureusement pas un logiciel qui a été optimisé pour faire des éléments verticaux ou horizontaux. C'est cependant possible mais demande énormément de temps. Il faut extruder une polygone saisie pour faire le mur. Ensuite, il faut construire des plans des fenêtres et faire que les plans soient verticaux ou horizontaux. La prochaine étape est d'intersecter les plans sur le maillage obtenu de l'extrusion. Puis ensuite, il est alors possible de ressortir les coordonnées des ouvertures. Par contre, il faut également refaire le maillage manuellement pour voir sur la modélisation les ouvertures. Il n'existe pas d'outils permettant d'ajouter des trous dans un maillage.

8.3.3. Comparaison

La modélisation simplifiée via 3DReshaper est plus lent que la modélisation complète mais est légèrement plus précise qu'avec REVIT (Figure 60). Avec Revit, il est possible d'avoir une erreur de 2.9cm. Cette erreur est de même ordre que les erreurs vues précédemment avec une restitution de VirtuSurv avec texturation. Sans texturation l'erreur maximum est de 2.4cm. L'erreur de la modélisation de 3DReshaper vient également du fait que la modélisation ne tient pas entièrement compte du nuage de points mais aussi de contrainte géométrique. Les différences entre le MS60 et la modélisation sont alors plus conséquentes que pour un modélisation complète.

Il faut tenir compte que ce genre de modélisation dépend beaucoup de la construction. Dans le cas de notre église, le bâtiment est âgé et les murs ne sont pas verticaux tout comme les ouvertures. Pour un bâtiment plus récent, les murs et fenêtres devraient être construit en ayant des murs plus verticaux ce qui permettrait d'obtenir une meilleure précision de la modélisation simplifiée de 3DReshaper et de REVIT.

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]	Type
1	Revit avec VirtuSurv (P40)	10	3DReshaper (P40)	12	Revit avec VirtuSurv (Faro)	5	3DReshaper (Faro)	23	VirtuSurv sans texturation (P40)	6	
2		19		13		24		3		18	
3		27		22		27		30		24	
4		12		6		11		7		7	
5		22		14		18		9		17	
6		12		5		10		14		13	
7		29		13		18		10		19	
8		16		4		6		6		7	
9		20		18		10		22		13	
10		8		9		16		11		9	
11		18		19		13		21		16	
12		20		15		8		11		4	
Moyenne		18		13		14		14		13	

Figure 60 Comparaison des restitution 2D+1

Sur la Figure 61 se trouve les déplacements verticaux des ouvertures saisies. Pour rappel, les ouvertures saisies sont horizontales. Il faudrait donc que le décalage vertical d'une tablette de fenêtre se fasse dans les 2 sens. Ainsi cela voudrait dire que l'horizontal a bien été saisi entre l'altitude des 2 points. Ce n'est malheureusement jamais le cas avec REVIT et cela se retrouve dans la majorité des cas sur la modélisation de 3DReshaper. Le décalage maximum en altimétrie est de 2.7cm pour REVIT et 2.3cm pour 3DReshaper (Figure 61 page 45).

Entre les différences de densité, l'erreur moyenne reste la même. Par contre, l'erreur la plus grande pour 3DReshaper avec le Faro atteint 3cm alors qu'elle est de 2.2cm avec le P40.

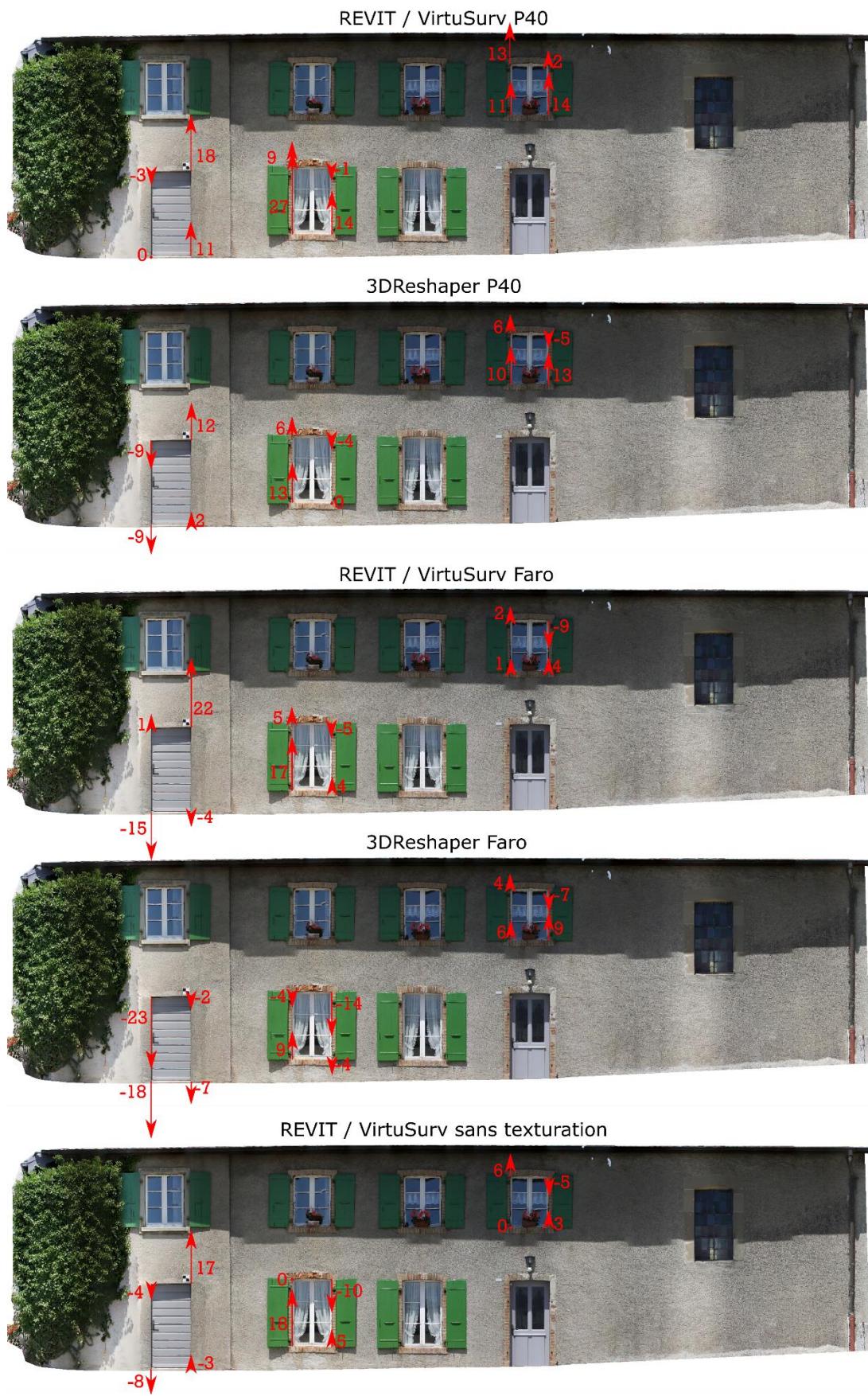


Figure 61 Ecarts verticaux en mm des ouvertures

8.4. PLAN DE FAÇADE

8.4.1. 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 le traitement dans 3DReshaper pour mettre à plat une des modélisations.

Après avoir modélisé toute la façade d'une méthode (Figure 62), nous pouvons attaquer la mise en plan des éléments. Dans ce cas, il a été décidé d'utiliser la modélisation complète depuis le nuage extrait du contour planaire du P40.



Figure 62 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 tachéométrique.

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 pourraient apparaître.

Les différentes manipulations effectuées ont été faites dans 3DReshaper. Il aurait été possible de les faire via un autre programme.

Dans 3DReshaper pour projeter 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.

8.4.2. Plan via dessin sur plan

Un autre moyen d'obtenir un plan de façade serait de dessiner le plan dans 3DReshaper puis de le décaler dans le sens de sa normal pour être devant la façade. Il suffit ensuite de changer le référentiel du dessin pour que la verticale du référentiel coïncide avec la normal au plan. En appuyant sur Z, 3DReshaper place la vision dans le sens de l'axe verticale donc dans la perpendiculaire du plan. Il suffit alors de digitaliser sur le plan les éléments de la façade comme montré dans la Figure 63. (Voir annexe 13 pour la démarche)



Figure 63 Plan de façade sur plan dans 3DReshaper

Il également possible de faire une orthophoto du nuage de points dans 3DReshaper et ainsi ressortir les éléments en digitalisant dessus. Cela revient à la même chose que ce qui a été fait ci-dessus. Cela n'a donc pas été traité.

8.4.3. 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.



Figure 64 Digitalisation sur orthophoto

8.4.4. Comparaison

Pour la comparaison, il a été fait le plan via restitution que pour le contour planaire extrait de 3DReshaper. Afin de ne pas avoir de différence due au référencement des plans de façade, toutes les façades seront translatées dans un même système. Le système est décrit par un point et les points moyens de chaque façade sont alors translatées sur ce point. Dans la Figure 65, il y a 2 façades dessinées de 2 manières. Les 2 points moyens n'ont pas les mêmes coordonnées, les façades sont alors incomparables. En définissant un point bidon à une certaines coordonnées (100 / 100 sur la figure), il est possible de translater les façades par les 2 points moyens pour les mettre dans un même système. Il est alors possible de comparer les 2 façades.

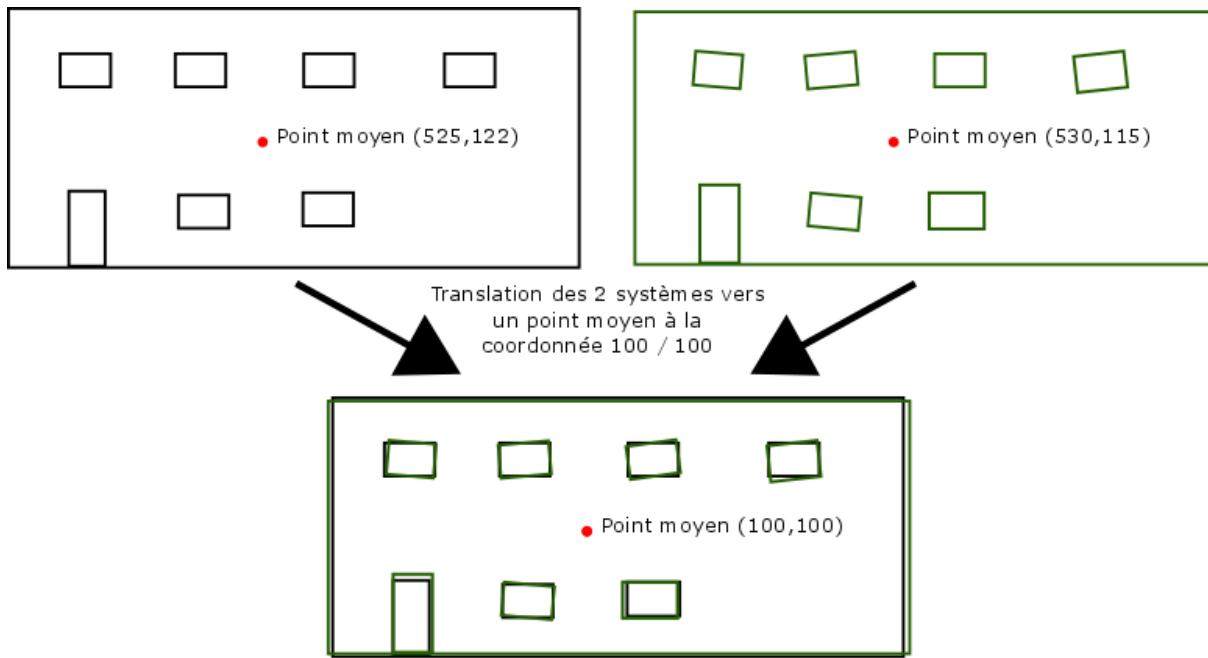


Figure 65 Schéma pour établir la comparaison de coordonnées de plan de façade

Dans notre cas, seuls une porte et deux fenêtres sont comparées (idem que pour la modélisation complète Figure 47 page 35).

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 3DReshaper	3	Orthophoto de Agisoft digitalisée	3
2		5		2		2
3		7		6		6
4		4		2		6
5		8		7		2
6		9		10		3
7		9		10		8
8		7		1		2
9		7		10		4
10		6		8		8
11		7		16		1
12		5		3		2
Moyenne		7		7		4

Figure 66 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 effectuée. Le moyen le plus facile d'obtenir un plan de façade est la digitalisation sur l'orthophoto ou de digitaliser sur un plan dans 3DReshaper. Par contre, dans le cas de petite façade comme celle-ci, un simple levé tachéométrique est beaucoup plus simple. Car, pour de la photogrammétrie, il faut également lever des points au MS60 pour spécifier l'horizontalité et le facteur d'échelle sur la façade. Si la façade est très grande, un levé tachéométrique peut prendre beaucoup de temps alors qu'une prise de photo et quelques points levés à la station totale pour référencer le chantier suffise. La photogrammétrie permet également d'avoir un apport visuel et esthétique d'un plan de façade avec comme fond de plan l'orthophoto. Il y a un avantage au niveau du temps pour effectuer un plan via une digitalisation dans 3DReshaper. Il suffit uniquement d'effectuer un scan de façade avec un scanner puis de faire la digitalisation sur le nuage obtenu dans 3DReshaper. Ainsi en effectuant le plan de façade avec un scan, le gain de temps est d'environ 40 minutes. Par contre, il

faut que le scan soit bien bullé et ait un bon compensateur afin d'avoir un nuage qui est horizontale et n'a donc pas besoin de rotation.

	Terrain	Bureau	Digitalisation
orthophoto	15min de photo + 10minutes au MS60 pour les cibles ou facteur d'échelle	25min de calcul de l'aérotriangulation et de création du plan	Même durée de temps pour effectuer la digitalisation
Plan digitalisé dans 3DReshaper	5 minutes de scan	5minutes de création du plan	

La dernière méthode testée (plan via une restitution) est beaucoup plus compliquée à mettre en place et n'apporte aucune plus-value.

Le choix de l'utilisation du scanner ou de la photogrammétrie pour établir un plan de façade serait le besoin de restituer des éléments subcentimétriques de la façade (Chapitre 8.5 page 49) ou si il y a une demande du mandant d'avoir une orthophoto. Sinon le choix d'utiliser un scanner paraît être la meilleure méthode au vu de la précision obtenue et du gain de temps.

Pour obtenir, une orthophoto de qualité sans bavure sur l'image, il est nécessaire d'avoir des photos prises perpendiculairement à la façade. C'est pour cela que pour des façades très hautes, il faut la traiter avec des perches ou avec un drone. Les photos prises depuis le sol ne seront pas perpendiculaires à la façade dans sa partie supérieure et il est probable que le rendu de l'orthophoto à ces endroits soit de mauvaises qualités.

8.5. RESTITUTION DE DÉTAILS

Ce modèle de restitution revient à de la modélisation sur des plans d'objet subcentimétrique tel que des fissures dans les murs, des joints ou de moulures de mur historique. Il semble que la seule méthode est l'utilisation de la photogrammétrie avec des photos hautes résolutions.

Il sera traité dans ce chapitre deux types de restitution de détails, des moulures d'arches de l'église et des fissures.

8.5.1. Moulures d'arche

Pour le scanner, avec un nuage très dense (un point tous les 2mm) de l'intérieur effectué au Faro, il est possible de distinguer les moulures qui ont de la profondeur grâce à un maillage (Figure 67). Les moulures se distinguent de justesse donc il est déconseillé d'utiliser cette méthode.

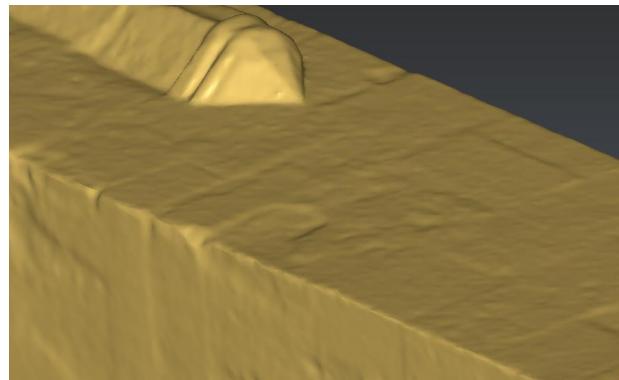


Figure 67 Moulures sur un maillage de scanner

Avec le scanner, VirtuSurv permet également de faire de la restitution de moulure (Figure 68 à gauche). Si le scan est proche de l'élément, la restitution est facilement faisable. Par contre, les moulures sont larges donc elles sont visibles dans le nuage (Figure 68 à droite). Il est alors également possible de restituer les moulures directement dans le nuage de points. Ce n'est pas le cas pour les fissures (voir chapitre 8.5.2 page 51). L'avantage de restituer directement dans le nuage de points est que la restitution peut se faire sur plusieurs nuages de points venant de plusieurs scans ce qui n'est pas le cas de VirtuSurv. Il est important de préciser que la moulure se situait à environ 3m du scan. Il est possible que si les moulures sont plus loin du scan, il aurait été difficile de les voir car la densité du nuage aurait faibli et les différences de couleur entre les points aurait été moins nette en fonction de la qualité de l'appareil photo du scanner.

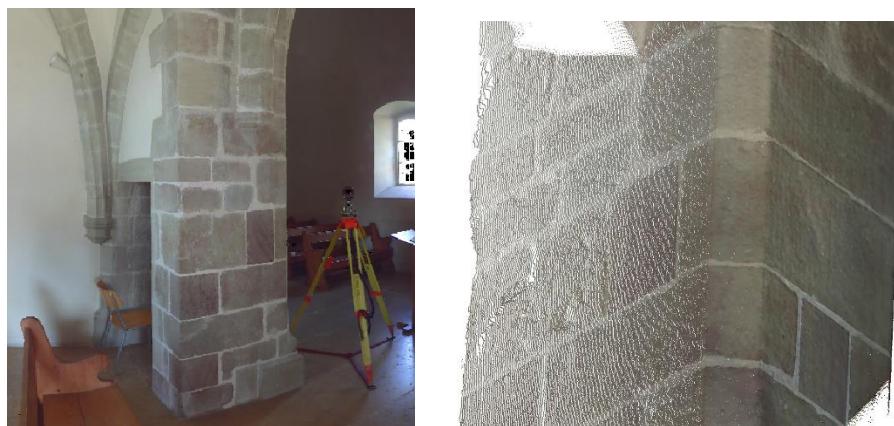


Figure 68 Moulure dans VirtuSurv et dans le nuage de points

Actuellement, la méthode la plus simple est d'utiliser la photogrammétrie. Il existe alors 3 méthodes :

- La restitution comme expliqué au chapitre 8.2.3 page 40
- La création de forme comme expliqué au chapitre 8.2.3 page 40
- Texturation d'un maillage d'Agisoft puis digitalisation sur le maillage

Ces 3 méthodes sont également applicables pour des fissures. La texturation d'un maillage n'apporte rien par rapport aux autres méthodes de restitution. Elle demande juste un temps de

travail plus long pour créer le maillage. Il est alors conseillé d'utiliser la création de forme qui est très rapide et précise (Chapitre 8.2.4 page 41).

8.5.2. Fissures

Comme expliqué au chapitre 2.2 page 1 du rapport, la restitution de fissure avec des scanners est actuellement impossible. Il faudrait un programme qui permette d'effectuer de la restitution sur le nuage scanner depuis les images prises des scans. A mon sens, il n'existe actuellement aucun programme de ce type. VirtuSurv fonctionne presque de cette manière sauf que l'image est une image du nuage de point et que la fissure n'est alors pas visible. Sur la Figure 69, à gauche, la fissure n'est pas visible (image de VirtuSurv) tandis qu'elle serait visible dans la photo prise du scanner (image de droite).

Il a été essayé de recalculer la position des photos du scanner dans Agisoft et d'en importer ensuite le nuage du scanner. Il aurait alors été possible d'utiliser les photos du scanner pour effectuer de la restitution dans le nuage depuis les images. Il n'a malheureusement pas été possible de faire ce traitement. Très peu de temps a été consacré à cette étude, il est donc possible qu'il existe une solution pour utiliser les photos des scanners dans Agisoft.



Figure 69 Différence entre image de points de VirtuSurv et la photo du scanner

8.5.3. Conclusion

Même s'il est possible d'utiliser un scan pour restituer les moulures, il est difficile de trouver à partir de quand la moulure est visible ou non. Il est donc préférable d'utiliser la photogrammétrie avec des formes dans Agisoft pour assurer un résultat au mandat et être rapide. Il sera intéressant de voir l'amélioration de l'utilisation des photos des scanners dans le futur.

9. MÉTHODE D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENT OPTIMALE EN FONCTION DU MANDANT

9.1. SYNTHÈSE DU RÉFÉRENCEMENT ET DE LA MODÉLISATION

Les référencements les plus rapides sont les traitements 4 et 10, soit du nuage-nuage ou de la photogrammétrie et du nuage-nuage. Ces 2 traitements répondent au valeur de qualité demandée dans ce genre de mandat (1cm, choix validé par l'encadrement de mon travail de diplôme). L'avantage du traitement n°10 est que si l'entreprise ne possède que 1 scanner, pendant qu'un employé fait l'intérieur au scan, un autre employé peut faire l'extérieur à la photogrammétrie. Au P40 des scans intérieurs prennent moins de 10 minutes car il n'y a pas besoin de spécifier les cibles directement sur le terrain. Le nuage est bien assez dense vu que les distances entre le scan et les murs sont normalement courtes. En plus, vu que le traitement est principalement du nuage-nuage, il n'y aurait normalement pas vraiment besoin de cible. L'autre avantage du traitement 10 est la possibilité de coloriser la modélisation extérieure de manière précise avec Agisoft.

Par contre, s'il faut effectuer de la modélisation subcentimétrique la photogrammétrie est obligatoire pour l'entier du chantier tant qu'il n'y aura pas un programme qui permet d'utiliser les photos des scans pour effectuer de la restitution. Ainsi, nous arrivons à la conclusion que la prise de photo des scans n'apporte aucune plus-value car il est possible d'effectuer toutes les restitutions sans avoir un nuage texturé.

Pour la densité, vu que le temps de station est faible pour le P40 (Figure 7 page 8), il est simple de prendre un nuage dense et cela permet de garantir une bonne restitution. La modélisation via les plans prend beaucoup de temps (5minutes par fenêtre) mais est la plus précise. D'autres modélisation sont 7 voire 10 fois plus rapide et restent en-dessous du centimètre au niveau de leur qualité mais demande un nuage dense (1 pts tous les 3 ou 6mm).

Par exemple pour une façade avec 2 scans, en mesurant un nuage dense (1 point tous les 3mm à 10m), le temps de faire les 2 stations est d'environ 8minutes et pour restituer 10 fenêtre il faudrait alors environ 10minutes au bureau. Il faudrait alors 18minutes. Avec un nuage avec 1 point tous les 2.5cm à 10, il faut environ 2minutes de scan. Par contre au bureau pour restituer vu que la densité est faible il faut obligatoirement faire de la modélisation pour restituer. Il faudrait alors 50minutes pour restituer les fenêtres. Le temps de mesure et de restitution serait alors de 52minutes. Donc, le mieux est de prendre des scans denses qui sont quand même rapide et qui permettent d'effectuer toutes les méthodes de restitutions. Car, à mon avis, aucune restitution ne peut pas être appliquée dans tous les cas. Donc le temps perdu sur le terrain est rattrapé au bureau.

La prise de photo en effectuant des scans est inutile car la colorisation du nuage n'a aucune importance pour effectuer de la modélisation. Elle péjore même la qualité de la restitution dans VirtuSurv. Lorsqu'il sera possible de lier les photos du scanner avec la restitution, il sera alors utile de prendre les photos ce qui permettra d'effectuer de la restitution subcentimétrique de fissure.

9.2. CHOIX D'ACQUISITION

Il est impossible de définir une méthodologie qui fonctionne pour chaque chantier. Il a été défini un diagramme (Figure 70) qui permet d'aider à choisir une méthodologie. Par contre, il faut rester objectif sur le diagramme et savoir qu'il peut changer pour certains chantiers. Pour des mandats basics, il devrait pouvoir aider les professionnels à choisir une méthode. Il est possible que pour un mandat, il faille multiplier les méthodologies pour arriver à un résultat voulu par le mandant.

Ce diagramme pourrait être amélioré en effectuant d'autres tests comme faire un référencement via des coordonnées connues de la position des scans pour voir l'apport de ce mode et ainsi en analyser la qualité et la durée. Malheureusement, ce référencement a seulement été effectué dans le clocher et n'a pas subi les mêmes tests que les autres référencements.

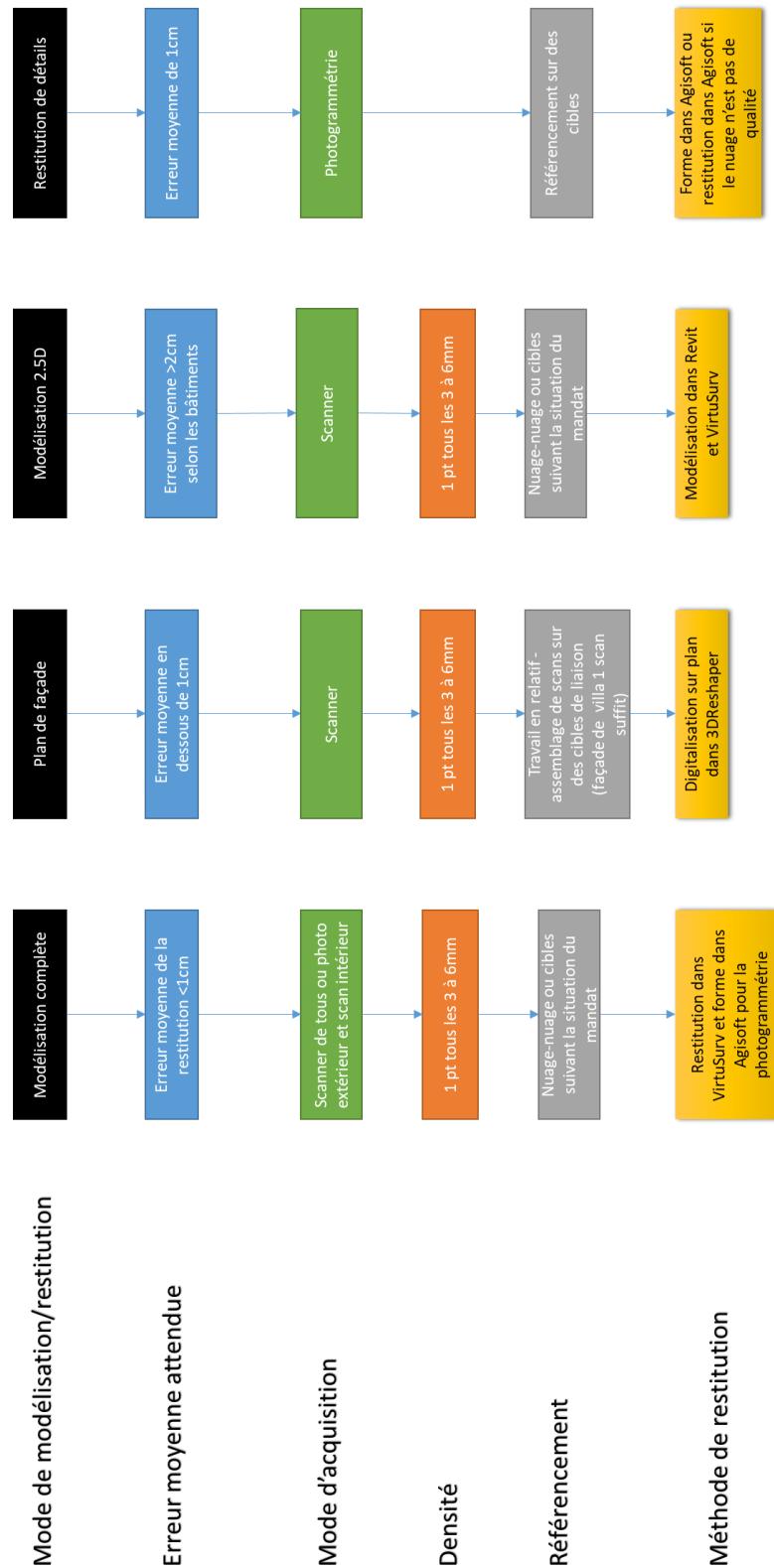


Figure 70 Choix d'acquisition pour des cas simples

10. ANNEXES

- 1 : Script python pour MicMac
- 2 : Référencements
- 3 : Représentations graphiques 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 : Représentations graphiques des différences des plans de façade
- 8 : Choix du logiciel photogrammétrique
- 9 : Vidéo du clocher
- 10 : Cahier des charges
- 11 : Appareils de mesures
- 12 : Plan de travail
- 13 : Plan de façade dans 3DReshaper

11. BIBLIOGRAPHIE

- 1 : BROCH, FLORIAN**: 2018, *Travail d'approfondissement : Utilisation de la caméra Ladybug en photogrammétrie*
- 2 : THIBAUT, DUDKA**: 2015, *Photogrammétrie et modélisation 3D à partir d'images drone au sein de TPLM-3D*
- 3 : HULLO, JEAN-FRANÇOIS**: 2010, *Acquisition de nuages de points denses par photogrammétrie terrestre*

12. WEBOGRAPHIE

- 1 : MICMAC**: disponible à l'adresse : https://micmac.ensg.eu/index.php/MicMac_tools [Consulté le 6 juin 2018]
- 2 : 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]
- 3 : PIX4D**: disponible à l'adresse <https://pix4d.com/> [Consulté le 18 juin 2018]
- 4 : PYTHON 3.6**: disponible à l'adresse <https://www.python.org/> [Consulté le 29 mai 2018]
- 5 : CYCLONE**: disponible à l'adresse <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone> [Consulté le 7 juin 2018]
- 6 : REVIT : MAQUETTE 3D À PARTIR D'UN NUAGE DE POINTS**: disponible à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=663E4w0w-ac> [Consulté le 11 juillet 2018]

TABLE DES ILLUSTRATION

Figure 1 Résolution de détails d'une fissure.....	2
Figure 2 Exemple de plan de façade	3
Figure 3 Traitement de différentes modélisations.....	4
Figure 4 Détails de l'église.....	5
Figure 5 Carte des mesures effectuées.....	7
Figure 6 Paramétrage de scan Faro	8
Figure 7 Paramétrage de scan P40	8
Figure 8 Luminosité intérieur-extérieur	8
Figure 9 Schéma des stations Faro/MS60	10
Figure 10 Position des scans de contrôle du MS60.....	11
Figure 11 Méthode et référencement (traitement testé/non testé)	12
Figure 12 Schéma d'assemblage de nuage	13
Figure 13 Qualité du référencement sur nuage du P40	14
Figure 14 Qualité du référencement sur nuage du Faro.....	14
Figure 15 Référencement sur cibles.....	15
Figure 16 Qualité du référencement sur cible du P40.....	15
Figure 17 Qualité du référencement sur cible du Faro	16
Figure 18 Qualité du référencement du nuage photogrammétrique extérieur	17
Figure 19 Qualité du référencement du nuage photogrammétrique intérieur.....	18
Figure 20 Qualité du référencement du nuage du drone Parrot Bebop.....	18
Figure 21 Position des différents nuages	19
Figure 22 Qualité du référencement du nuage Faro sur le nuage photogrammétrique.....	20
Figure 23 Qualité du référencement du nuage Faro sur le nuage photogrammétrique avec des cibles liaisons.....	20
Figure 24 Récapitulatif de la qualité des référencements.....	21
Figure 25 Traitement testé dans le clocher.....	22
Figure 26 Photos du clocher (escalier de l'entrée et l'intérieur du clocher).....	22
Figure 27 Trajets effectués au héron	23
Figure 28 Problématique du héron dans le clocher.....	23
Figure 29 Schéma de scan au héron.....	24
Figure 30 Exemple de sélection de 3 points communs entre 2 scans	24
Figure 31 Résultat final du référencement.....	25
Figure 32 Coupe du clocher effectué avec CloudCompare.....	26
Figure 33 Contrôle des scans dans le clocher (position du scan du MS60 en bleu / comparaison entre les 2 nuages	27
Figure 34 Fenêtres scannées depuis l'extérieur et l'intérieur.....	27
Figure 35 Coupes du clocher	28
Figure 36 Comparaison des nuages Faro et photogrammétrique du clocher	28
Figure 37 Position de la comparaison du bruit extérieur	29
Figure 38 Bruit du MS60	30
Figure 39 Bruit et densité du nuage P40.....	30
Figure 40 Bruit et densité du nuage Faro	31
Figure 41 Bruit du nuage photogrammétrique du Canon.....	31
Figure 42 Position de la comparaison du bruit intérieur	32
Figure 43 Bruit du nuage photogrammétrique à l'intérieur en haut au Canon	32
Figure 44 Bruit du nuage photogrammétrique à l'intérieur en bas au Canon.....	33

Figure 45 Bruit du nuage photogrammétrique du drone bebop.....	34
Figure 46 Comparaison de décrochement entre scanner et photogrammétrie.....	34
Figure 47 Points des restitutions	35
Figure 48 Choix des modélisations.....	36
Figure 49 Modélisation avec meilleures plans.....	37
Figure 50 Création de contour planaire avec 3DReshaper.....	38
Figure 51 Rééchantillonage de polyligne avec 3DReshaper	38
Figure 52 Erreur de contour sur l'angle de la fenêtre	39
Figure 53 Capture d'écran de la vision dans VirtuSurv.....	39
Figure 54 Schéma de restitution de scanner	40
Figure 55 Différence de résolution (Canon EOS 5DS R / Ladybug 360°)	40
Figure 56 Comparaison des restitutions	41
Figure 57 Comparaison VirtuSurv P40 / Faro	42
Figure 58 Comparaison de pointé d'une restitution (VirtuSurv texturé / Photo / VirtuSurv non texturé).....	42
Figure 59 Durée de restitution pour une fenêtre	43
Figure 60 Comparaison des restitution 2D+1	44
Figure 61 Ecarts verticaux en mm des ouvertures	45
Figure 62 Restitution des éléments de la façade.....	46
Figure 63 Plan de façade sur plan dans 3DReshaper	47
Figure 64 Digitalisation sur orthophoto.....	47
Figure 65 Schéma pour établir la comparaison de coordonnées de plan de façade	48
Figure 66 Comparaison des plans de façade par rapport aux mesures du MS60	48
Figure 67 Moulures sur un maillage de scanner	50
Figure 68 Moulure dans VirtuSurv et dans le nuage de points	50
Figure 69 Différence entre image de points de VirtuSurv et la photo du scanner.....	51
Figure 70 Choix d'acquisition pour des cas simples.....	53