Faculté de géographie et d'aménagement
Université de Strasbourg



MASTER 1

Observation de la Terre et Géomatique

Modélisation 3D de l'église Saint-Christophe sise au 4 rue de l'Indre, 67100 Strasbourg

SERY Ange

Professeur : **Monsieur Bastien Wirtz**

Tables des matières

Tables des matières 2

Introduction 3

I. Présentation de l'objet à modéliser en 3D 3

II. Méthodologie d'acquisition et de traitements 4

II.1. Méthodologie d'acquisition des photos 4

II.2. Traitement des images 5

II.2.1. Matériels et logiciels utilisés 5

II.2.2. Méthodologie de traitement des images 6

III. Résultats 13

III.1. Alignement des photos 13

III. 2. Génération du nuage de points dense (Build dense cloud) 15

III. 3. Mise à l'échelle 1:1 16

III. 4. Géoréférencement dans le système RGF93 18

III. 5. Construction d'un modèle 3D maillé 20

IV. Recommandation d'amélioration du modèle 3D 23

Bibliographie 25

Introduction

I. Présentation de l'objet à modéliser en 3D

Le présent rapport a pour objet la modélisation 3D de l'église « Saint-Christophe », suitée au 4 rue de l'Indre, 67100 Strasbourg. L'église présente une configuration pentagonale, avec des dimensions approximatives de 37 mètres en longueur, 30 mètres en largeur au niveau de la façade principale, 10 mètres en largeur pour la face arrière, et une hauteur de 11 mètres (Figure 1). Le choix de ce bâtiment repose sur son caractère libre d'accès, ouvert à tous sans restriction, ainsi que son état d'abandon, ce qui facilite les prises de vue photographiques. On note aussi la présence de jardin à ses alentours.

En raison de son accessibilité totale, nous avons opté pour une modélisation complète de l'église, incluant l'ensemble de ses façades. Il est à noter que la modélisation de la toiture ne sera pas possible, en raison de sa hauteur importante par rapport à notre position au sol.



Figure 1 : Image de l'église dans Google Earth

II. Méthodologie d'acquisition et de traitements

II.1. Méthodologie d'acquisition des photos

Pour acquérir les photos, nous avons utilisé notre téléphone portable de marque "IPhone 15'' fonctionnant sous le système d'exploitation iOS version 26.0.1. L'acquisition a eu lieu le 11 novembre 2025, entre 12h34 et 13h10. Ce créneau a été choisi en raison des conditions météorologiques particulièrement favorables de la journée, caractérisées par une absence de couverture nuageuse et de brouillard, ainsi que par excellent ensoleillement. Pour garantir la qualité des images, essentielle pour un rendu optimal, plusieurs réglages de l'appareil photo ont été appliqués et une attention particulière a été porté aux conditions de prise de vue.

Pour ce qui est de la configuration de l'appareil photo, un objectif fixe de 26 mm a été employé, avec une résolution de 24 mégapixels, afin d'obtenir un champ de vision suffisamment étendu et des images très nettes. Les images ont été enregistrés au format ".HEIC'', spécifique aux appareils IPhone. Cependant, une conversion en format ".PNG'' a été nécessaire de faciliter la l'importation de nos photos dans le logiciel photogrammétrique. Concernant la prise de vue, il faut dire que le bâtiment a été photographié selon un parcours continu, veillant à avoir suffisamment de points communs entre chaque image consécutive (recouvrement latéral de 80% minimum). Au niveau des angles, c'est-à-dire entre deux façades, nous avons veillé à resserrer les prises de vue dans le but d'éviter les « zones faibles » dans la géométrie du nuage de points. Cette approche facilitée aussi la tâche aux logiciels photogrammétriques dans la détermination de la position de chaque image, permettant la reconstitution d'un modèle 3D sans « trous ». Pour couvrir tout le bâtiment, nous avons réalisé un total de 511 photos.

Les caractéristiques de la caméra sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Appareil : Iphone 15	Caméra	
	**Type de caméra**	Caméra principale
	Objectif	20 mm, f/1.8
	Pixels effectifs	24 MP
	Taille max de l'image	4284 x 5712 pixels

Figure 2 : Caractéristiques de la caméra utilisée pour les prises de vues.

II.2. Traitement des images

II.2.1. Matériels et logiciels utilisés

Le traitement des images a été réalisé à l'aide du logiciel Agisoft Metashape, une solution de photogrammétrie avancée reconnue dans les domaines de la cartographie, l'archéologie, la géomatique et la surveillance environnementale. Il permet la transformation d'ensembles d'images aériennes en produits géospatiaux exploitables tels que les orthomosaïques, les modèles 3D texturés, etc...

Agisoft Metashape est un logiciel payant, qui propose un ensemble complet de fonctionnalités, allant de l'alignement automatiques des images à la génération de nuages de points denses, en passant par la création de maillages 3D et l'ortho rectification. Sa compatibilité avec des images de plusieurs types comme les formats « png, jpeg, tiff, BMP, etc. » en fait un outil particulièrement adapté au traitement d'images aériennes et terrestre.

Figure 3 : Logo d'Agisoft Metashape.

De plus, nous avons utilisé pour les traitements, un ordinateur qui dispose d'un processeur de type AMD Ryzen 5 8640HS w/ Radeon 760M Graphics, 3.50 GHz, Core i5, d'un système d'exploitation en 64 bits, de 32 Go de mémoire vive et d'une carte graphique AMD Radeon 760M Graphics.

II.2.2. Méthodologie de traitement des images

La méthodologie que nous avons adoptée repose sur une chaîne de traitement rigoureuse, visant à produire des résultats précis. Toutes les étapes ont été réalisé dans l'environnement Agisoft Metashape. Le processus s'est articulé autour des étapes suivantes, illustrées à la Figure 4 :

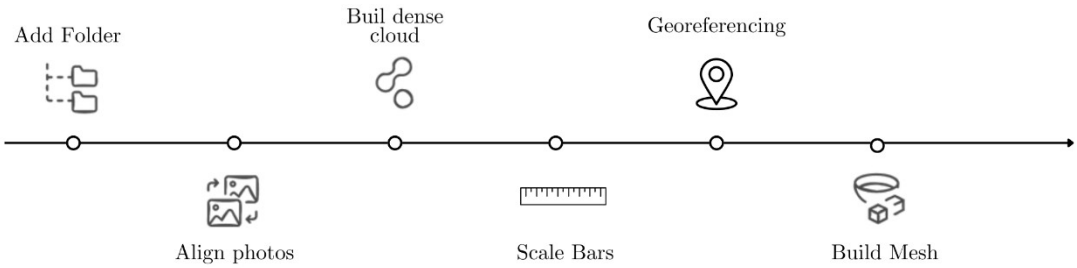


Figure 4 : Etapes du traitement des images

1. **Etape d'importation des images (Add folder)** : les 511 photos que nous avons prises ont été intégrées aux projets via la commande *Workflow → Add Folder* (Figure 5). Cette opération constitue la première étape de la chaîne de traitement.

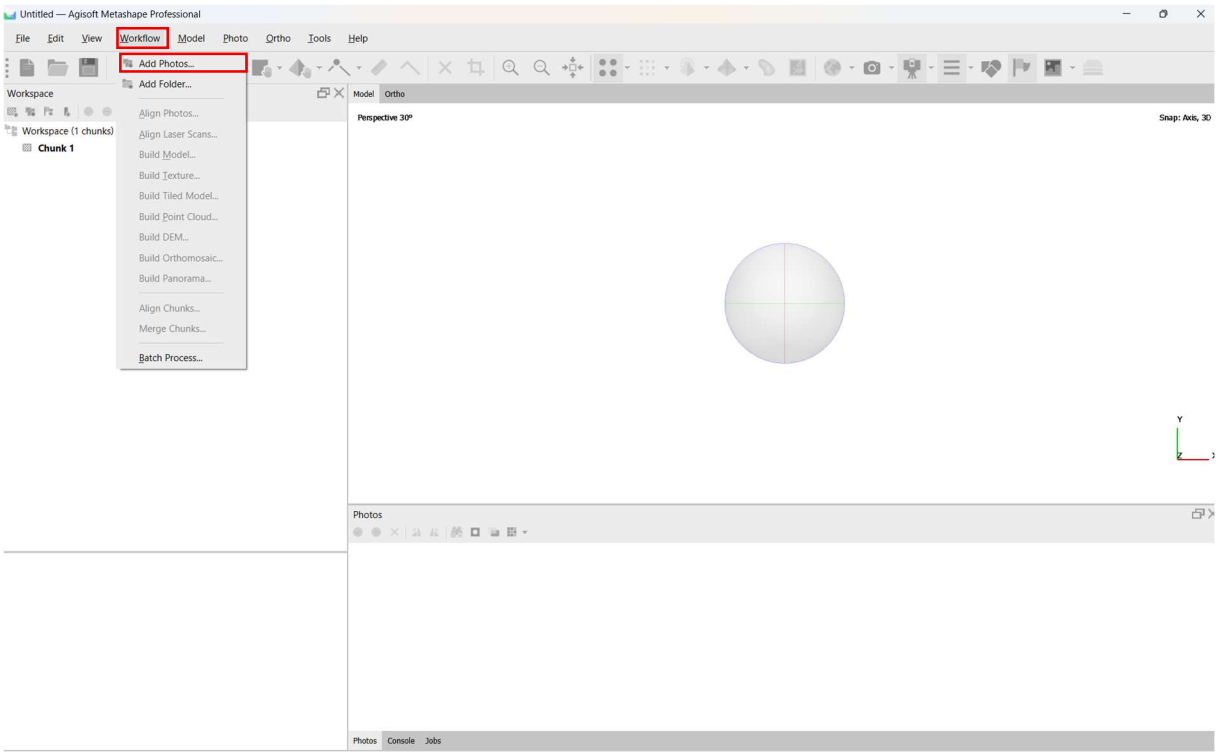


Figure 5 : Importation des images

2. **Alignement des images (Align photo) :** c'est l'étape où les positions et les orientations des images sont déterminées. En effet, le logiciel va identifier automatiquement les points homologues (pixels) entres les différentes images, déterminer la position des prises de vue, permettant ainsi leur alignement dans un espace tridimensionnel commun. Cette étape génère un nuage de points clairsemé, indispensable pour la reconstruction 3D. Pour cela, le paramétrage de l'outil est très important. Dans notre cas, nous avons utilisé les paramètres suivants (Figure 6) :
    - **Accuracy : Hight** → le logiciel va réaliser les calculs en conservant la taille originale des images, permettant d'obtenir des estimations de position de caméra plus précise.
    - **Key point limit : 40 000** → cela indique la limite supérieure du nombre de points remarquable que le logiciel va repérer par photo. Dans notre cas, nous avons laissé la valeur par défaut de 40 000 points. Ce qui veut

dire que sur une photo, il va repérer au maximum 40 000 points remarquables par photos.

- **Tie point limit : 10 000** → cela indique la limite supérieure du nombre de point de liaison pour chaque photo. Par défaut, la valeur est à 4 000 mais dans notre cas, nous avons mis une valeur de 10 000 points, ce qui signifie que pour chaque paire d'image consécutif, le logiciel doit trouver au maximum 10 000 points homologues.

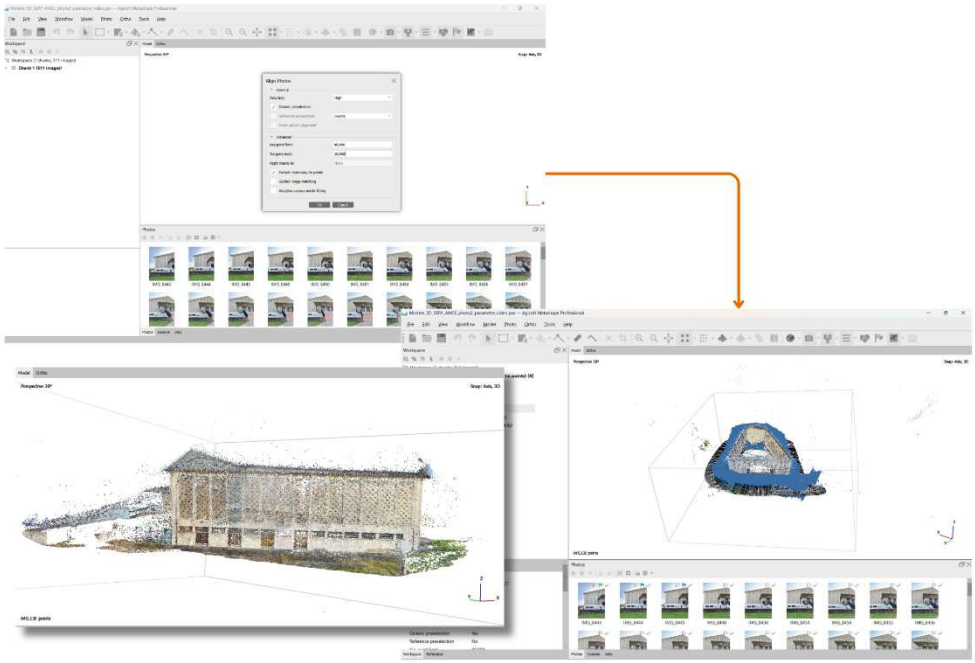


Figure 6 : Etape pour l'alignement des images

3. **La génération du nuage de points dense** (**Build dense cloud**) : un nuage de points dense est ensuite calculé à partir des images alignées. Pour cela, nous avons fixé deux paramètres. Le premier est la qualité (*Quality*), nous avons choisi une qualité « haute ». Le logiciel va donc calculer le nuage dense à partir des images sous-échantillonnées d'un facteur de 1:2, c'est-à-dire une division par 4 du nombre de mégapixels par rapport à la résolution d'origine (24 mégapixels. Cela permet d'avoir un niveau de détail élevé de l'objet [documentation

Metashape, 2019]. Le deuxième paramètre est le filtrage de profondeur (*Deph Filtereing*), qui permet de filtrer les points aberrants. Trois modes étaient proposés : léger, modéré et agressif. Nous avons choisi le mode « **modéré** » pour avoir le plus de détail dans les zones où il y a un changement de profondeur tout en réduisant le niveau de bruit [documentation Metashape, 2019].

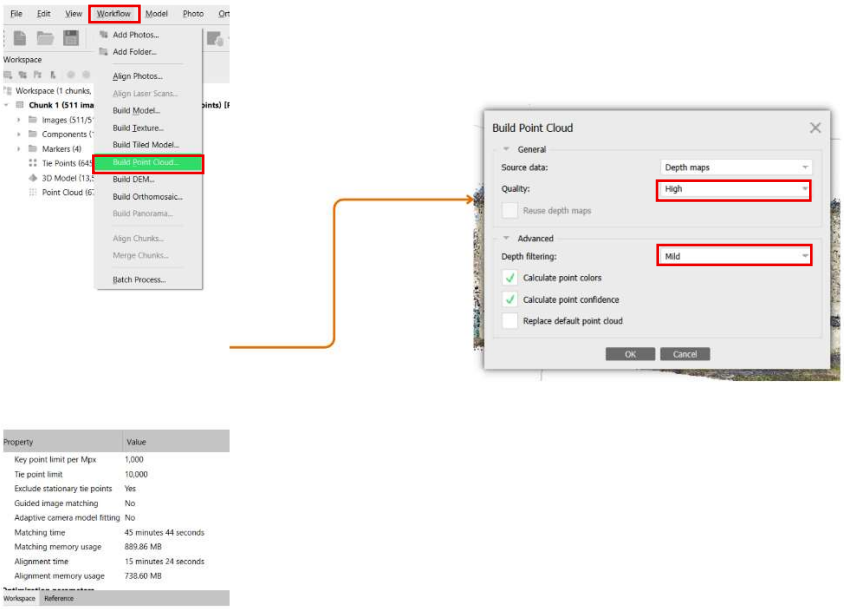


Figure 7 : Etape de la construction du nuage de point dense

4. **La mise à l'échelle (1 :1) (scale bars)** : la mise à l'échelle 1:1 va consister à faire correspondre le nuage de points dense ainsi que le modèle 3D maillé (construire après) à la réalité, de façon que 1 unité dans le modèle correspond à 1 unité sur le terrain (par exemple 1 m dans le modèle = 1 m en réalité). Cette mise à l'échelle s'est faite de la manière suivante :
    - D'abord, sur le terrain nous avons mesurer la distance réelle de certains objets appartenant au bâtiment. Précisons que quatre (4) mesures ont été faites (Figure 8), mais seulement trois (3) ont été utilisé pour la mise à l'échelle. La quatrième mesure de distance a été utilisé comme donnée de validation de la mise à l'échelle.



Figure 8 : Mesures terrain utilisées pour la mise à l'échelle

- Ensuite dans Metashape, à partir du nuage de point dense généré à l'étape précédente, nous avons ajouté de base 6 marqueurs, correspondants aux paires des objets mesurés sur le bâtiment (une distance se mesure entre deux points A et B). Mais nous avons compléter les marqueurs de bases (6) par d'autres marqueurs qui représentait les mêmes objets présentés dans la Figure 8, histoire de couvrir tout le bâtiment. Au total, nous avons placé 14 marqueurs. Quelques exemples sont présentés dans la Figure ci-dessous :



Figure 9 : Quelques emplacement des marqueurs utilisé pour la mise à l'échelle 1:1.

- Enfin, à partir de la fonction « *Create a scale bars* », nous avons renseigné la distance réelle entre chaque paire de points. Les informations ont été mise à jour à partir de la fonction « *Update transform* » du panneau « *Référence* » et le logiciel à calculé la marge d'erreur pour chaque mesure (cf. III).

5. **Le géoréférencement (georeferencing)** : Après la mise à l'échelle (1:1), nous avons géoréférencé le nuage de point dense à partir des données du LiDAR HD de l'IGN. Celui-ci permet de basculer le nuage de point densifié, qui est de base dans le système de coordonnée local du logiciel, dans le système de coordonnée générale : Lamber 93. Cette étape a été faite de la manière suivante :
    - D'abord, nous avons téléchargé le nuage de points (NdP) de l'IGN (Lidar HD) sur le site Service de téléchargement à la carte | cartes.gouv.fr,: en s'assurant que la dalle choisie couvre entièrement notre zone d'étude.

- Ensuite, dans QGIS version 3.40.7, nous avons chargé le NdP et extrait les coordonnées (X, Y et Z – en mètre) des 4 sommets de notre bâtiment (Figure 10). Nous avons choisi ces points car ils apparaissaient dans notre NdP dense ainsi que celui de l'IGN.

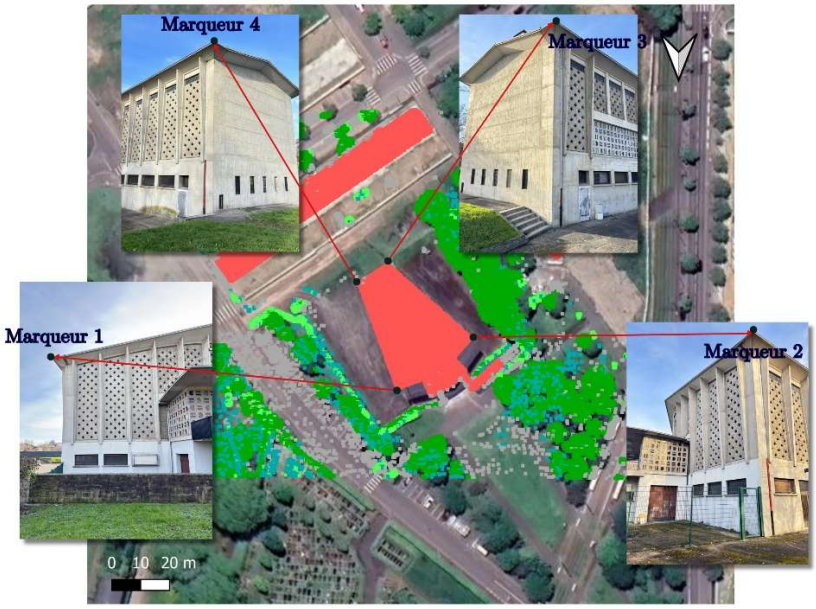


Figure 10 : Localisation des marqueurs utilisés pour le géoréférencement.

Points	X (m)	Y (m)	Z (m)
Marqeur_1	1051635.07	6838464.49	150.87
Marqeur_2	1051609.77	6838447.23	150.85
Marqeur_3	1051638.53	6838421.74	150.84
Marqeur_4	1051648.33	6838428.42	150.83

- Enfin sur Metashape, nous avons créé des marqueurs sur le NdP dense, en s'assurant que les points sélectionnés correspondent bien à ceux du NdP du lidar HD. Les coordonnées réelles ont ensuite été renseignées pour chaque marqueur, puis les caméras ont été optimisées grâce à la fonction « *Optimize Cameras* » dans le panneau « *Reference* » afin de mettre à jour le système de coordonnée.

6. **Génération du modèle 3D maillé (Build mesh)** : il s'agit d'une étape où le logiciel va générer le modèle 3D maillé de notre bâtiment à partir du NdP dense et géoréférencé. Trois paramètres ont été fixé pour cette étape :

- **La source (Source data) :** nous avons choisi le NdP dense afin qu'il génère le maillage sur cette base. Cela entrainera un temps de calcul plus long mais généra un résultat de haute qualité [documentation Metashape, 2019].
- **Le type de surface (Surface type) : Arbitraire,** pour des objets de type 3D, et de préférence fermés [documentation Metashape, 2019].
- **Qualité (Quality) : Haute**, cela permettra d'obtenir une géométrie plus détaillée et plus précise du bâtiment [documentation Metashape, 2019].

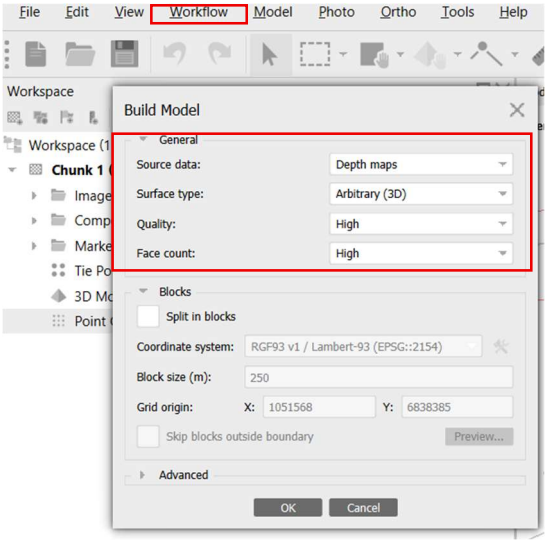


Figure 11 : Paramétrage de la construction du modèle 3D maillé

III. Résultats

III.1. Alignement des photos

Avec les paramètres que nous avons choisis pour aligner les photos entre elles, il faut dire que le temps de calcul a duré 70 minutes. Cela est quand même acceptable pour les paramètres choisis ainsi que le nombre de photos que nous avions. Nos 511 photos ont toutes été alignées, ce qui veut dire d'une part qu'au premier abord la prise de vue a été un véritable succès et d'autre part que le logiciel a réussi à trouver suffisamment de point commun dans chaque photo.

En sortie, nous avons obtenu un nuage de point clairsemé comprenant **645 132 points** (Figure 12), avec une multiplicité des points de liaison (*Average tie point multiplicity)* de **5,375**. Cela signifie qu'en moyenne, chaque point du nuage est "vue'' et validé par environ 5 à 6 photos, ce qui est quand même bien car mathématiquement, un point vu par 5 ou 6 photos présente une fiabilité beaucoup plus élevé qu'un point vu par seulement 2 photos. Cela permet aussi de compenser les erreurs de mesure sur chaque photo. La taille du fichier (Tie points) est de 1,628 giga.

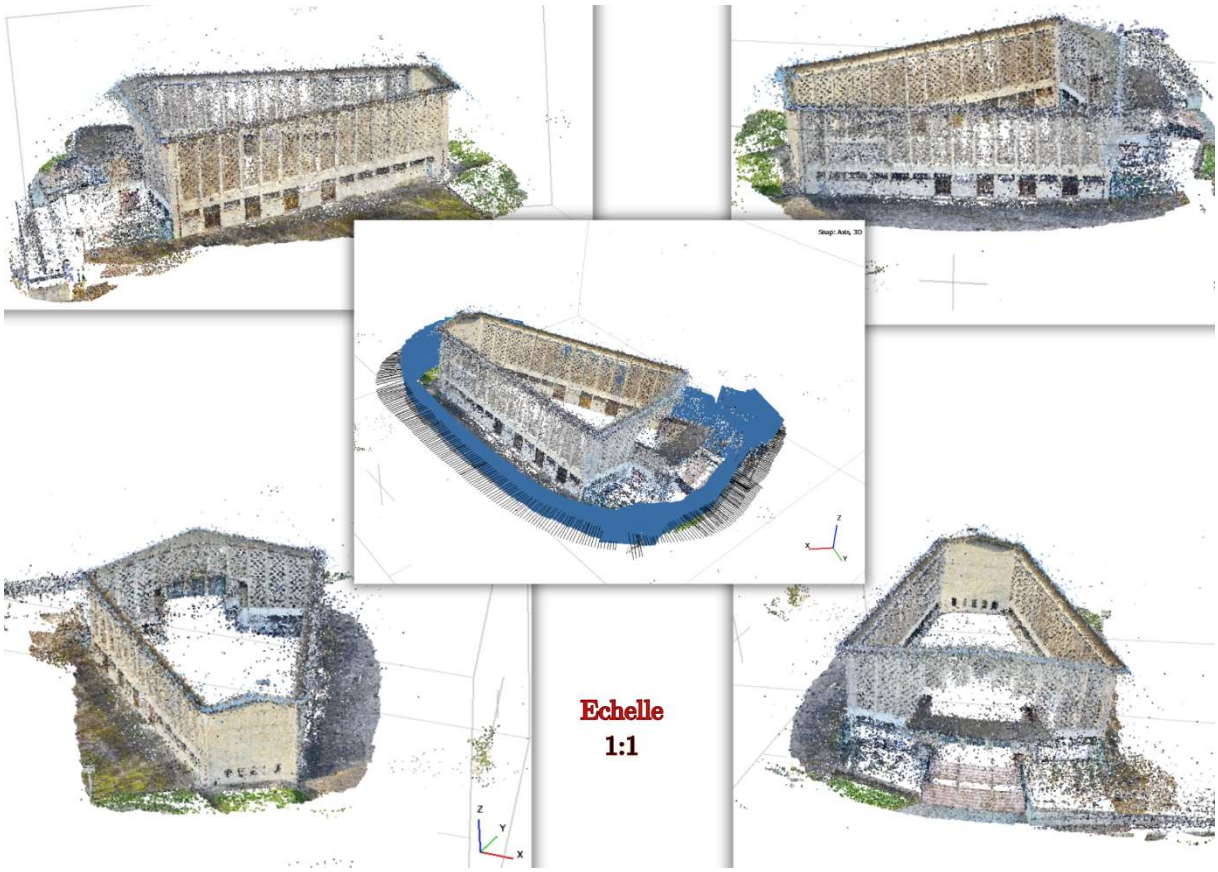


Figure 12 : Résultats de l'alignement : nuage de points clairsemé

Sur la Figure ci-dessus, nous pouvons apercevoir, une espèce de "ceinture bleue'' sur l'image centrale, qui représente la position de la caméra autour du bâtiment. Nous pouvons remarquer que toutes les photos se chevauchent les unes aux autres, et il y aucun saut ou angles mort. C'est ce qui explique pourquoi toutes nos photos ont été alignés. On remarque aussi que pour cette première étape, nous avons déjà un résultat visuel presque parfait. On arrive à différencier les différents objets du bâtiment tels que

les portes, les fenêtres, les angles du bâtiment, etc. De plus, le haut du bâtiment ne présente pas de point. Cela se justifie par le fait qu'aucune de la toiture photo a été réalisé en raison de l'impossibilité d'accès.

III. 2. Génération du nuage de points dense (Build dense cloud)

Après le calcul du nuage de point dense, nous avons obtenu 67 900 083 points, ce qui fait environ 105 fois plus de points que les nuages de points générés au niveau de l'alignement des photos. Le temps de calcul a duré 1h 47 minute et a utilisé 17,07 GB de mémoire RAM. Le fichier en sortie a une taille de 1,04 GB.

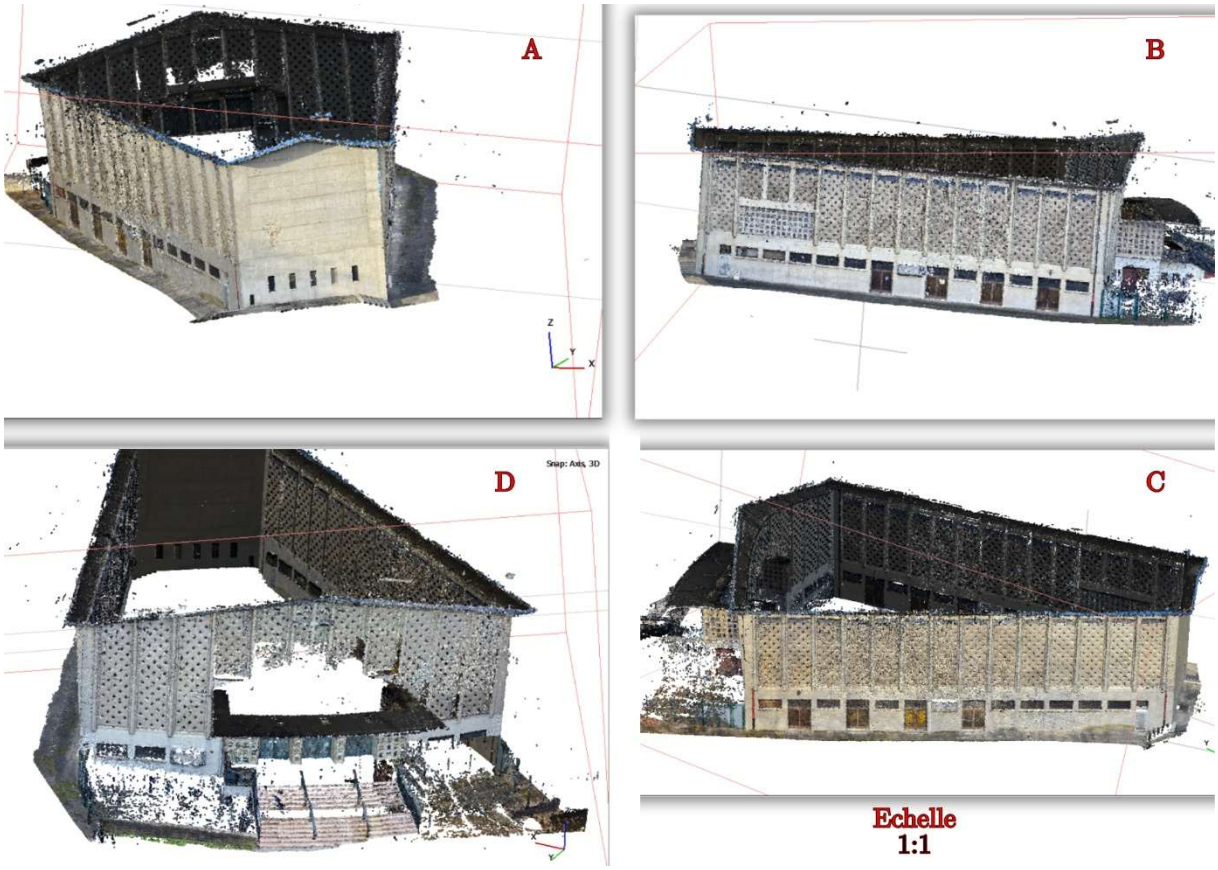


Figure 13 : Résultats du nuage de points dense.

Sur l'ensemble des vues, on remarque que le nuage de point dense restitue de manière cohérente la forme globale du bâtiment. Les façades latérales (image B et C) ainsi que la façade arrière (image A) présentent une reconstruction satisfaisante. En revanche, la façade principale (image D) comporte une grande ouverture au niveau de sa partie centrale, matérialisé par une absence de points. Cette déficience pourrait résulter d'effet

d'occlusion causé par la toiture, et les escaliers, combinés à un positionnement de la caméra insuffisamment élevé (par rapport à notre position) pour capter les détails dans ces zones (Figure 14). Ce problème de modélisation peut être attribuée également aux conditions d'éclairage lors de la capture des images. En effet, la façade principale (image D) a été photographiée en situation de contre-jour (Figure 14). Cette configuration a vraisemblablement généré des zones de surexposition dues aux rayons du soleil, provoquant une instabilité radiométrique entre les clichés et réduisant ainsi la détection de points homologues fiables dans cette section.



Figure 14 : Situation de contre-jour de la façade principale

III. 3. Mise à l'échelle 1:1

Conformément à la méthodologie décrite dans la partie II., l'opération de mise à l'échelle a été effectuée sur la base de distance relevées sur l'église. Sept (7) mesures ont été employé à cet effet : deux (2) sont des mesures de la porte principale (2,28 m) (car il avait 2 portes principales, de même distance), cinq (5) mesures sont des chambranles de fenêtres (2,24 m) (car le bâtiment a plusieurs fenêtres, de même distance) et deux (2) autres mesures portant sur les portes secondaires des façades

latérales de l'église (Figure 15). Après intégration et actualisation de ces données dans Metashape, nous avons obtenu une erreur moyenne de mise à l'échelle d'environ 3 cm (Figure 16). C'est un résultat qui nous parait suffisamment correcte à l'échelle du bâtiment.



Figure 15 : Mesures de distances utilisées pour la mise à d'échelle.

Scale Bars	Distance (m)	Accuracy (m)	Error (m)
porte_secondaire_1	2.040000	0.001000	-0.010300
porte_secondaire_2	2.040000	0.001000	-0.067539
grande_fenêtre_1	2.240000	0.001000	0.022686
grande_fenêtre_2	2.240000	0.001000	0.006373
grande_fenêtre_3	2.240000	0.001000	0.006744
porte_principale_1	2.280000	0.001000	0.014131
porte_principale_2	2.280000	0.001000	0.013399
Total Error			
Control scale bars			0.028404
Check scale bars			

Figure 16 : Erreur moyennes de la mise à l'échelle

Pour valider la mise à l'échelle du modèle, une mesure de distance sur le nuage de points dense d'un élément du bâtiment n'ayant pas été utilisé lors du paramétrage a été réalisée. La distance réelle de l'objet est connue au préalable et est de : 51 cm (cf. II.2. - Figure 8). Après la mesure de l'objet, nous avons obtenu la distance de 51 cm, ce qui correspond bien à la distance réelle (Figure 17).



Figure 17 : Vérification de la mise à l'échelle par la mesure d'une distance sur le nuage de points dense

III. 4. Géoréférencement dans le système RGF93

Le géoréférencement du bâtiment a été réalisé à partir de 4 points d'appui connu grâce au données Lidar HD de l'IGN (Figure 18). Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

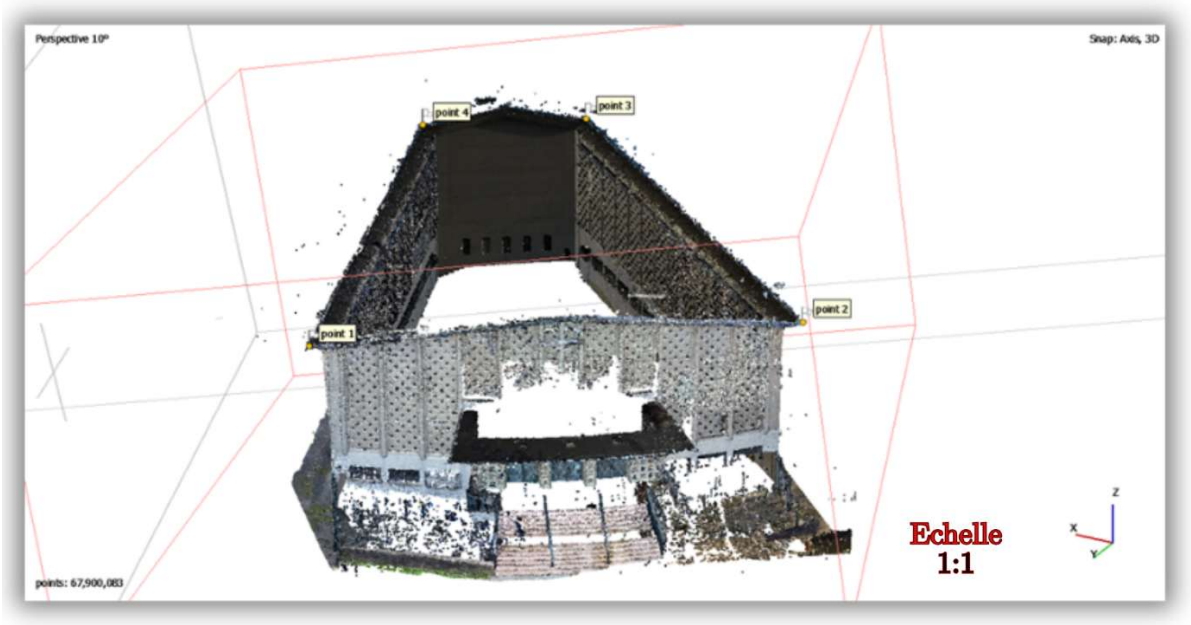


Figure 18 : Position des points de calage utilisés pour le géoréférencement

Label	Erreur en X (cm)	Erreur en Y (cm)	Erreur en Z (cm)	Total (cm)	Image (Pix)
Point 1	15,4715	9,9382	0,0512	18,3885	0,333 (84)
Point 2	-4,3227	-18,7755	-0,0561	19,2678	0,411 (109)
Point 3	-7,2089	6,8761	0,1047	9,9629	0,337 (91)
Point 4	-3,9354	1,9612	-0,0998	4,3981	0,256 (83)
Total	**9,0214**	**11,2073**	**0,0817**	**14,38**	**0,344**

Figure 19 : Résidu des points de calage du modèle

Le tableau indique, pour chaque point de contrôle, les composantes d'erreur en X, T et Z, ainsi que l'erreur totale et l'erreur image moyenne en pixels. On remarque que les points 1 et 2, présentent une erreur totale très élevé (18,38 cm et 19,26 cm) par rapport au point 3 et 4 (9,96 cm et 4,39 cm). De plus, ces erreurs sont plus marquées en planimétrie qu'en altimétrie (9, 02 cm en X, 11, 02 cm en Y et 8 cm en Z). Cela pourrait s'expliquer par le fait que comme les photos ont été prises depuis le sol, on a une configuration qui contraint beaucoup mieux la composante verticale que le plan horizontal. Et l'erreur moyenne totale de 14,38 cm pourrait s'expliquer par des erreurs de pointé dans le nuage de point dense, lors de la recherche de point homologue avec les points du Lidar HD, surtout pour les points 1, 2 et 3.

Malgré l'erreur totale moyenne qui peut paraitre trop importante, le bâtiment ne présente pas de gros décalage par rapport à sa position réelle. Cela a été confirmé par la comparaison avec le Lidar HD (Figure 20).

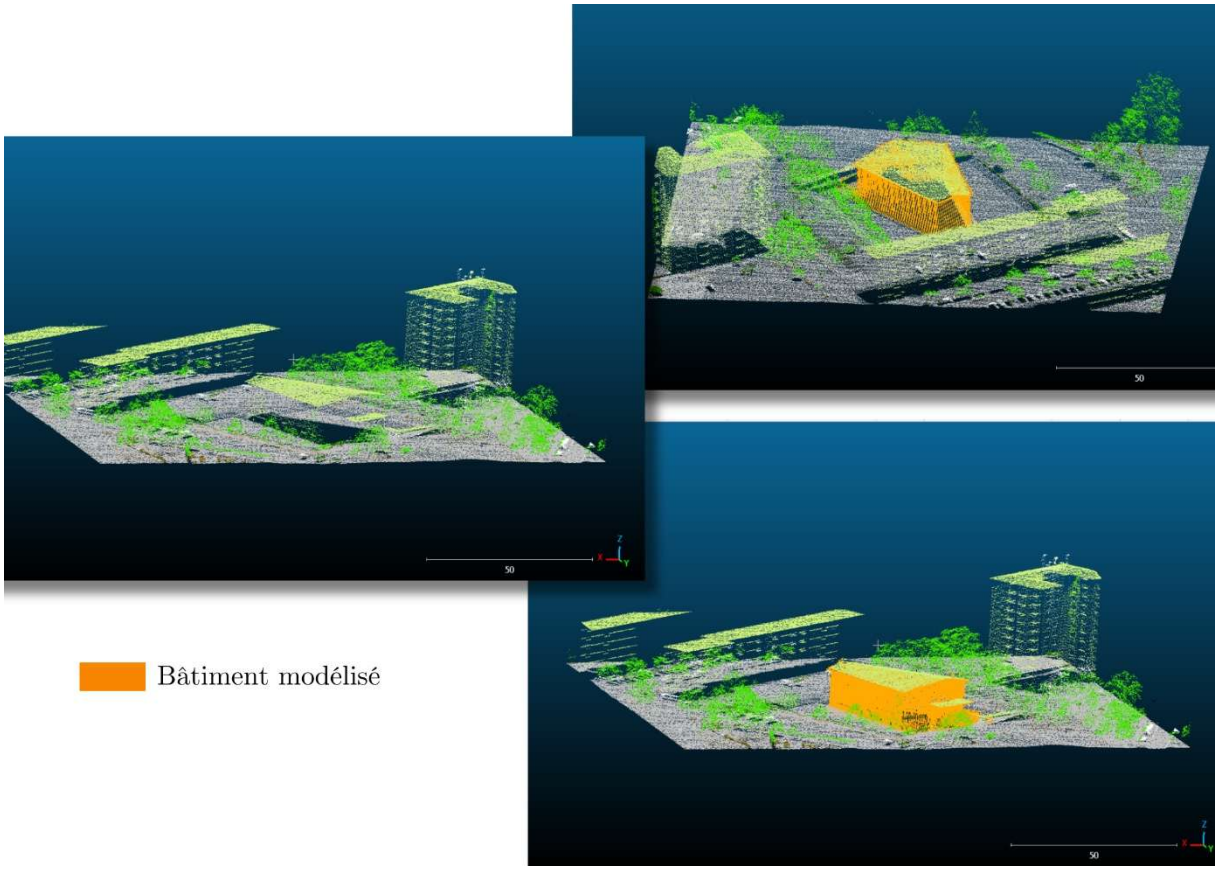


Figure 20 : L'église Saint-Christophe dans sa position réelle (données du Lidar HD IGN)

III. 5. Construction d'un modèle 3D maillé

Le modèle 3D maillé (Figure 21) présente une reconstruction volumétrique globalement réussie. Toutes les façades, sauf la principale, ont été bien reconstruites. Les fenêtres, les portes, les angles sont bien visibles. Les parties manquantes sur la façade principale s'expliquent par la présence de clôtures sur le terrain (Figure 22 – D, E & G), qui ont restreint les prises de vues à ces niveaux. De plus, la végétation située sur le flanc droit de l'église (Figure 22 - C) nous a contraint à modifier de manière abrupte l'angle et la position de la caméra lors des acquisitions. Ce sont ces deux contraintes, ainsi que l'effet

de contre-jour (notifié dans la partie III. 2.), qui ont impacté dès le début (*Tie Points*) la qualité du maillage dans les zones concernées.

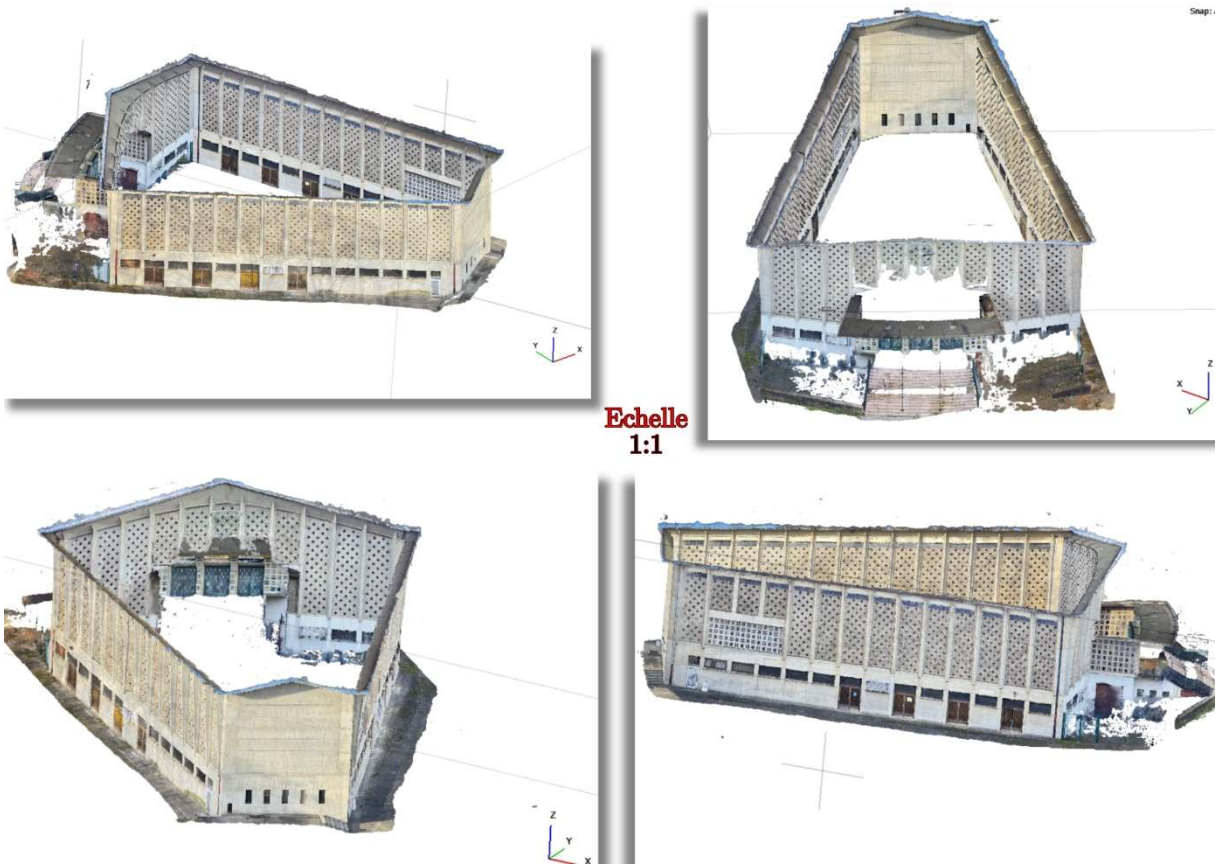


Figure 21 : Modèle 3D maillé mise à l'échelle et géoréférencé



Figure 22 : Quelques images des éléments qui ont gênés la prise de photos

En effet, les variations d'angles, de position et de l'effet de contre-jour [Malmary, 2016 ; Murtiyoso, 2016] ont réduit le recouvrement des photographies au niveau de la façade principale, limitant ainsi la triangulation des points homologues et diminuant la densité du nuage de points dans ces zones. Aussi, la présence de la végétation a introduit du bruit et des occlusions (potentiellement certains pixels appartenant aux arbres ont été incorrectement attribués à la structure du bâtiment, générant des points flottants ou des surfaces parasites). On peut même le remarquer avec les autres façades du bâtiment, qui ont été reconstruit correctement car nous n'avons pas eu ces problèmes cités plus haut lors de la prise de photos pour ces façades. Néanmoins, le modèle demeure exploitable pour les parties correctement reconstruites et fournit une documentation à la fois visuelle et métrique (géoréférencement & mise à l'échelle).

IV. Recommandation d'amélioration du modèle 3D

Bien que le modèle 3D obtenu présente une qualité globale satisfaisante et repose sur une méthodologie presque rigoureuse, plusieurs pistes d'amélioration peuvent être proposées pour améliorer le rendu final du modèle lors d'une prochaine mission. D'abord, vu que la phase d'acquisition des photos sur le terrain, constitue une étape indispensable pour n'importe quelle traitement photogrammétrique, il serait pertinent de réaliser au préalable une reconnaissance du site, afin d'identifier les zones qui pourrait potentiellement faire obstacles lors du traitement (ex. clôtures, végétation) et planifier des trajectoires spécifiques avec de plus grand recouvrements pour les zones critiques concernées. Il serait aussi intéressant, de varier les points de vue de la façade principale, en intégrant des prises de vues réalisées depuis des positions plus élevées (un drone par exemple). Cette approche permettrait potentiellement de réduire les effets de contre-plongée (prise de photo d'un objet plus haut à partir d'un point de vue plus bas), de limiter les effets d'ombre causées par la toiture ou les escaliers et d'éviter la végation. De plus, vu que les conditions d'éclairage jouent un rôle important dans la qualité des images, puis dans la reconstruction [Malmary, 2016], il serait intéressant d'éviter les conditions de contre-jour, en programmant notamment des acquisitions à des horaires adéquates, par exemple quand le soleil passe du côté opposé de l'objet à photographier, ou bien en réalisant des séries de prises de vue à des horaires différentes, tout en s'assurant aussi d'avoir de bonnes conditions d'éclairages.

Ensuite dans les paramétrages de Metashape, nous avons trouvé les paramètres choisis adaptés pour la reconstruction de l'objet, mais on gagnerait encore plus en précision si cela avait été précédé par une étape de nettoyage de la donnée. D'abord par la suppression des photos pas très pertinents (ne suivant pas une certaine logique dans la prise de vue) et ensuite par la suppression des points aberrants au niveau des *Tie Points*. Concernant le déréférencement, une amélioration pourrait être obtenue en augmentant par exemple le nombre des points de références ou en privilégiant les

éléments géométriquement stables et bien définis tels que les angles de murs ou les arrêtes nettes. Mais cela nécessite d'avoir une bonne donnée de référence, tels que les données Lidar 25 de l'EMS (Strasbourg SIG3D - LIDAR), dans lequel nous avons une très bonne représentation des bâtiments (façades, toitures, etc).

Bibliographie

Agisoft Metashape: User Manuals, (2019). Repéré à https://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/

Murtiyoso A., 2016, 21 septembre, *Protocoles d'acquisition d'images et de traitement des données par drone: modélisation 3D de bâtiments remarquables par photogrammétrie.*

Valéry L., (2016.), Télédétection par drones: procédures d'acquisition et de traitement d'images RVB.