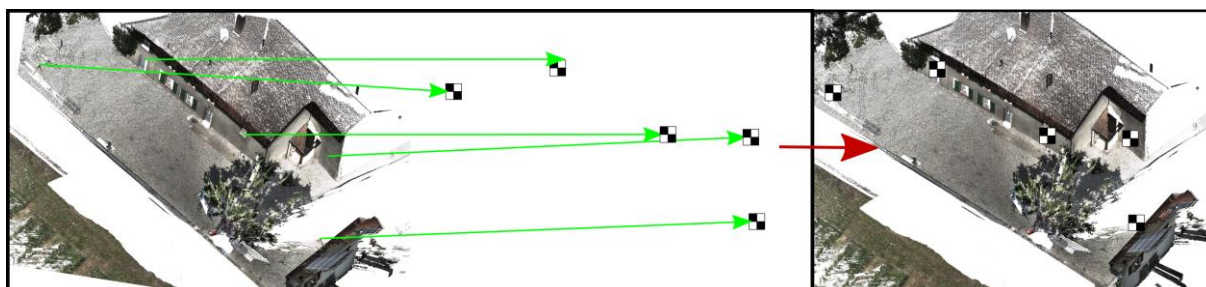
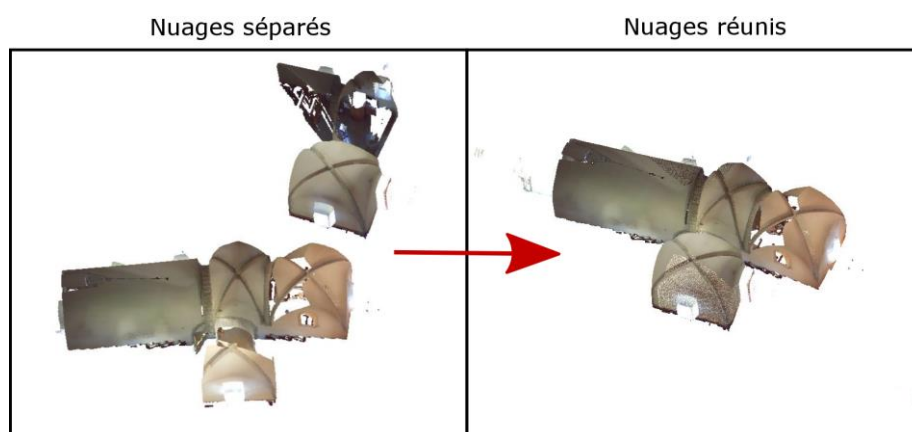


# DES NUAGES 3D ET DES IMAGES VERS UNE MAQUETTE NUMÉRIQUE

## ANNEXE 2 – RÉSULTAT DES RÉFÉRENCEMENTS



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](http://www.heig-vd.ch)



Environnement construit  
& Géoinformation

## TABLE DES MATIERES

1. Introduction.....	1
2. Scanner .....	1
2.1. Nuage sur Nuage .....	1
2.2. Nuage sur cible .....	3
3. Photogrammétrie .....	4
4. Photogrammétrie et scanner .....	8

## TABLE DES ILLUSTRATION

Figure 1 Référencement de nuage-nuage .....	1
Figure 2 St 8001 mis comme nuage de référence.....	1
Figure 3 Traitement de nuage-nuage dans cyclone .....	2
Figure 4 Résultat du nuage-nuage des 2 scans extérieurs du P40 .....	2
Figure 5 Résultat du nuage-nuage des scans Faro .....	2
Figure 6 Référencement sur cible .....	3
Figure 7 Problèmes de mesures de damier sur cyclone .....	3
Figure 8 Résultat du nuage sur cibles des 2 scans P40 .....	3
Figure 9 Résultat du nuage sur cibles des scans Faro.....	4
Figure 10 Saisies des damiers dans plusieurs images .....	5
Figure 11 Résultat du référencement du Canon .....	5
Figure 12 Résultat du référencement de la Ladybug .....	6
Figure 13 Position des prises de photos 360° .....	6
Figure 14 Résultat du référencement Canon et Ladybug.....	7
Figure 15 Résultat du référencement de la photogrammétrie du drone Bebop .....	7
Figure 16 Assemblage de nuage-nuage .....	8
Figure 17 Assemblage de nuage-nuage avec des cibles de liaison .....	8

## 1. INTRODUCTION

Cette annexe contient les résultats des calculs de référencement et d'aérotriangulation testés dans le travail de bachelor. Il contient également une courte explication du référencement.

## 2. SCANNER

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

### 2.1. NUAGE SUR NUAGE

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

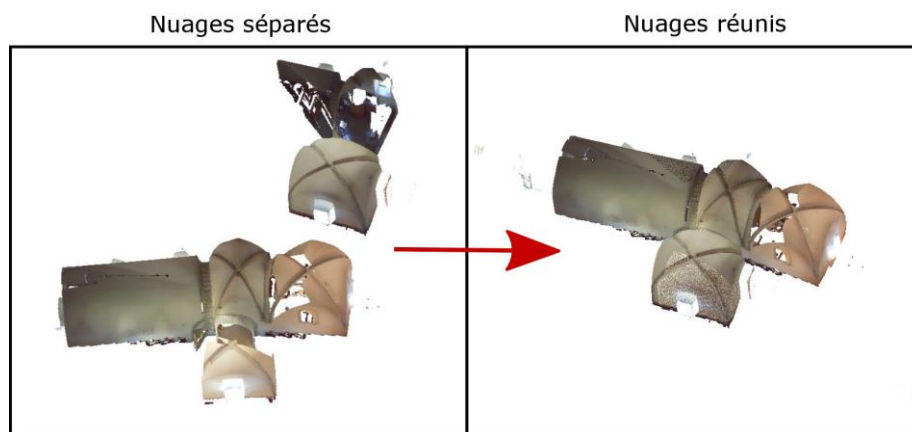


Figure 1 Référencement de nuage-nuage

Le référencement Faro et P40 s'est fait de la même manière. Il sera donc expliqué que pour le Faro. Une database est donc créée pour contenir notre projet. Les différents nuages du Faro sont importés dans le projet. Le scan depuis la station 8001 au MS60 est également importé. Ce scan servira de base de référence pour les différents autres scans.

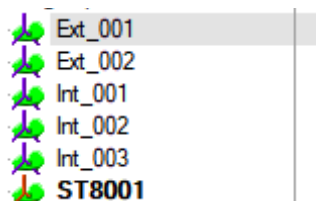


Figure 2 St 8001 mis comme nuage de référence

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

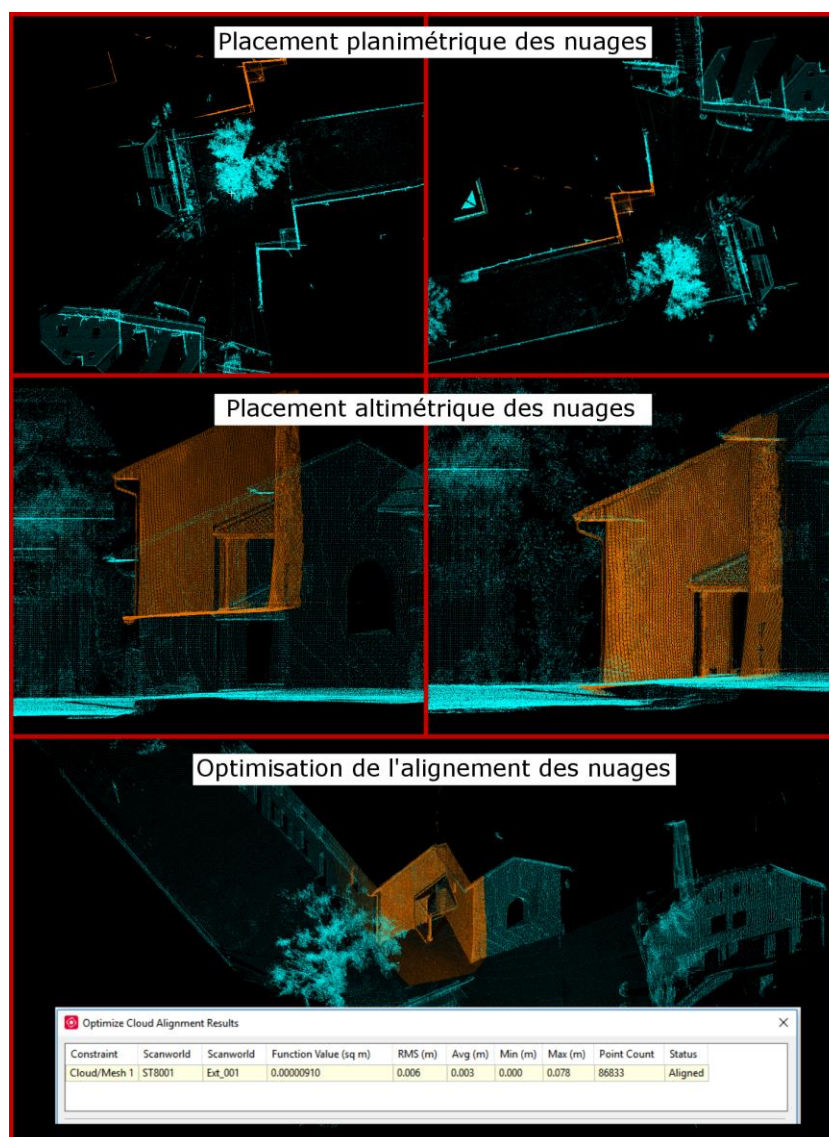


Figure 3 Traitement de nuage-nuage dans cyclone

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

Les Figure 4 (P40) et Figure 5 (Faro) contiennent le résultat des référencements des 2 scanners. Pour le P40, l'erreur est de 0mm. Par contre, l'erreur de vecteur des 2 stations P40 se situe à 2cm. Pour le Faro, l'erreur est à 0mm et l'erreur de vecteur à 1-2mm. Le référencement du Faro est donc de bonne qualité.

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector	Group Error	Group Error Vector
Cloud/Mes...	ST8001	P40_2: SW-00...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.008 m]	0.000 m	aligned [0.008 m]
Cloud/Mes...	P40_1: SW-00...	P40_2: SW-00...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.023 m]	0.002 m	aligned [0.023 m]

Figure 4 Résultat du nuage-nuage des 2 scans extérieurs du P40

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector	Group Error	Group Error Vector
Cloud/Mes...	Ext_002	Ext_001	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.002 m]	0.001 m	aligned [0.002 m]
Cloud/Mes...	Int_002	Int_001	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.001 m]	0.000 m	aligned [0.001 m]
Cloud/Mes...	Int_003	Int_002	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.002 m]	0.001 m	aligned [0.002 m]
Cloud/Mes...	Int_001	Ext_001	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.002 m]	0.000 m	aligned [0.002 m]
Cloud/Mes...	ST8001	Ext_001	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.001 m]	0.000 m	aligned [0.001 m]
Cloud/Mes...	ST8001	Int_003	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.001 m]	0.000 m	aligned [0.001 m]

Figure 5 Résultat du nuage-nuage des scans Faro

## 2.2. NUAGE SUR CIBLE

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

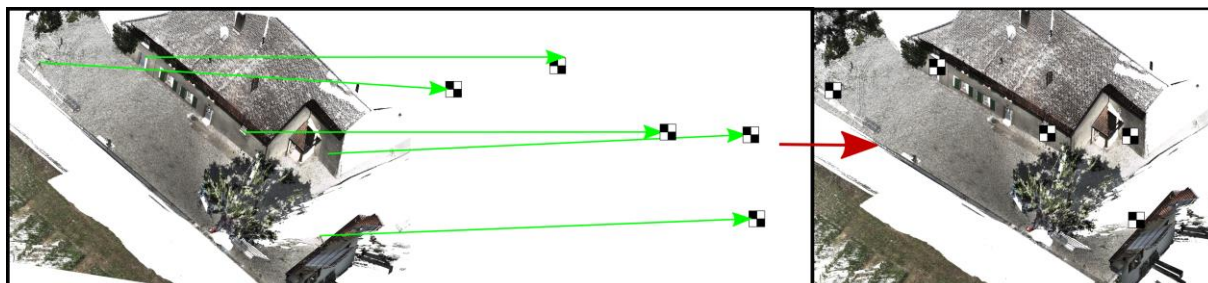


Figure 6 Référencement sur cible

La première étape est d'importer les scans. Il faut ensuite importer le fichier de points contenant les différentes coordonnées des damiers. C'est ce fichier qui servira de base du référencement.

Après avoir chargé les scans, il faut lui indiquer la position des cibles en damier si cela n'a pas déjà été fait sur le terrain (P40 effectué sur le terrain). Cyclone permet de détecter le centre des cibles en damier en cliquant approximativement sur les cibles. Il est possible qu'il détecte mal le centre si les murs derrière les cibles sont blancs ou noirs (Figure 7). Ce damier a donc dû être positionné à l'œil dans le nuage. L'une des solutions pour éviter ce genre de problème serait de scotcher une feuille verte derrière le damier.



Figure 7 Problèmes de mesures de damier sur cyclone

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

Les Figure 8 (P40) et Figure 9 (Faro) contiennent le résultat des référencements des 2 scanners. Pour le P40, l'erreur moyenne est de 2mm avec une erreur maximum à 4mm. Le référencement est donc de qualité. Pour le Faro, l'erreur moyenne est de 3mm mais avec une erreur maximum de 8mm. L'erreur maximum est justement sur le point 8001 qui a dû être positionné manuellement.

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector
8001	P40_1: SW-00...	P40_2: SW-00...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, 0.000, -0.001) m
8001	P40_1: SW-00...	coord-GCP.txt ...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.001, -0.001, 0.000) m
d2	P40_1: SW-00...	P40_2: SW-00...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.001, 0.000, -0.001) m
d2	P40_1: SW-00...	coord-GCP.txt ...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.001, 0.001, 0.001) m
d1	P40_1: SW-00...	coord-GCP.txt ...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(-0.003, -0.001, -0.002) m
8002	P40_1: SW-00...	P40_2: SW-00...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.000, 0.000, 0.003) m
8002	P40_1: SW-00...	coord-GCP.txt ...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.000, 0.000, 0.002) m
8003	P40_1: SW-00...	coord-GCP.txt ...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(-0.002, 0.000, -0.002) m
d4	P40_2: SW-00...	coord-GCP.txt ...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, 0.000, 0.001) m
d2	P40_2: SW-00...	coord-GCP.txt ...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.000, 0.001, 0.002) m
8002	P40_2: SW-00...	coord-GCP.txt ...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.000, 0.000, -0.002) m
8001	P40_2: SW-00...	coord-GCP.txt ...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, -0.001, 0.001) m

Figure 8 Résultat du nuage sur cibles des 2 scans P40



Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector
8001	Ext_001	Ext_002	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.001, 0.000) m
8001	Ext_001	Int_003	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, 0.001, 0.000) m
8001	Ext_001	coord-GCP.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.008 m	(0.008, 0.001, -0.002) m
d3	Ext_001	Int_003	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.002, 0.000, 0.000) m
d3	Ext_001	coord-GCP.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(-0.003, -0.001, 0.001) m
d2	Ext_001	Ext_002	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(-0.002, 0.000, -0.001) m
d2	Ext_001	coord-GCP.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.008 m	(-0.008, 0.002, 0.001) m
d4	Ext_001	Int_002	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, 0.000, 0.000) m
d4	Ext_001	Int_003	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, -0.001, 0.000) m
d4	Ext_001	coord-GCP.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.001, -0.002, 0.000) m
8002	Ext_002	coord-GCP.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.003, -0.001, -0.001) m
d1	Ext_002	coord-GCP.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.008 m	(-0.007, -0.003, 0.003) m
d2	Ext_002	coord-GCP.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.005, 0.002, 0.002) m
8001	Ext_002	Int_003	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, 0.000, -0.001) m
8001	Ext_002	coord-GCP.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.008 m	(0.008, 0.000, -0.002) m
8003	Ext_002	coord-GCP.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(-0.001, 0.001, -0.001) m
d7	Int_001	Int_002	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m
d7	Int_001	coord-GCP.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.000, 0.002, 0.001) m
d8	Int_001	coord-GCP.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(-0.001, -0.001, -0.001) m
d5	Int_001	Int_002	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(-0.001, 0.000, 0.000) m
d5	Int_001	coord-GCP.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, 0.000, 0.000) m
d6	Int_001	coord-GCP.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.000, -0.001, -0.001) m
d5	Int_002	coord-GCP.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.002, 0.000, 0.000) m
d7	Int_002	coord-GCP.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.000, 0.002, 0.001) m
d4	Int_002	Int_003	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(-0.001, 0.000, 0.000) m
d4	Int_002	coord-GCP.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, -0.001, 0.000) m
d4	Int_003	coord-GCP.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, -0.001, 0.000) m
8001	Int_003	coord-GCP.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.007 m	(0.007, 0.000, -0.002) m
d3	Int_003	coord-GCP.txt	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.005 m	(-0.005, 0.000, 0.001) m

Figure 9 Résultat du nuage sur cibles des scans Faro

### 3. PHOTOGRAMMÉTRIE

La première étape est de calculer de manière relative la position des photos entre elle. Il faut donc calculer la calibration des photos et ensuite déduire la position des photos.

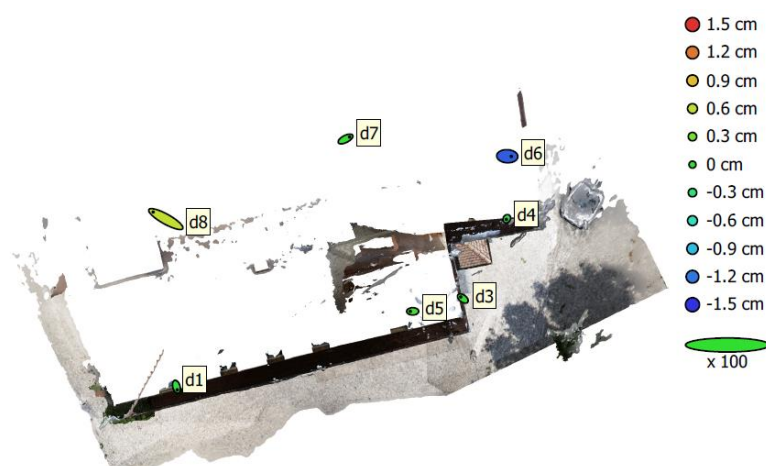
Comme pour les scanners, pour référencer le chantier, nous devons indiquer la position des damiers. La différence est que nous devons l'indiquer dans plusieurs photos afin d'avoir un recoupement qui permet d'obtenir les coordonnées locales du damier. Il s'agit ensuite de transformer vers le système de coordonnées nos photos. La position des damiers se fait actuellement manuellement dans les photos avec le programme d'Agisoft. S'il est utilisé des cibles spéciales que Agisoft fourni, la détection des cibles peut se faire automatiquement. Par contre, ces cibles ne sont pas des damiers, il sera donc plus difficile de les saisir pour des scanners en cas de combinaison des 2 méthodes. Il est plus facile de voir visuellement le centre du damier dans des photos que de trouver le centre des cibles Agisoft dans Cyclone. Donc, en cas de combinaison des méthodes, il est conseillé d'utiliser les cibles de type damier.



Figure 10 Saisies des damiers dans plusieurs images

### Canon EOS 5DS R

Sur la Figure 11, toutes cibles ont une erreur en-dessous de 5mm excepté les cibles d6 et d8. Ces cibles sont vues uniquement depuis une direction car elles sont situées au fond d'un couloir. Le recoupement pour en calculer les coordonnées relatives n'est alors pas précis. Agisoft ne donne malheureusement pas l'erreur de recoupement des images pour le calcul des coordonnées relatives des cibles mais seulement la différence entre les coordonnées doit et avoir. Le référencement est validé vu que 5 cibles sont en-dessous de 5mm et qu'il y a une explication du pourquoi 2 cibles sont au-dessus des 5mm.



Etiquette	Erreur X (mm)	Erreur Y (mm)	Erreur Z (mm)	Total (mm)	Image (px)
d1	0.818168	-3.06526	-0.635439	3.23559	0.276 (18)
d3	-2.16759	1.59089	0.115452	2.69123	0.475 (13)
d4	-0.380385	-0.672756	-0.506336	0.923942	0.212 (12)
d5	-2.43738	-0.0171646	0.724541	2.54285	1.017 (14)
d6	4.16473	-0.223581	-13.1355	13.7817	0.760 (9)
d7	4.16305	2.14643	0.299346	4.69337	1.494 (10)
d8	-13.0449	7.27543	6.34914	16.23	1.298 (8)
<b>Total</b>	<b>5.55876</b>	<b>3.16157</b>	<b>5.53097</b>	<b>8.45499</b>	<b>0.848</b>

Figure 11 Résultat du référencement du Canon

### Ladybug

Sur la Figure 12, le référencement n'a malheureusement pas été concluant avec une erreur moyenne de 23cm. Cette erreur vient sûrement du peu d'image saisi pour calculer des coordonnées relatives des cibles et que la qualité d'image de la Ladybug est faible (Voir Figure 55 page 38 du rapport). Sur la Figure 13, il est montré la position des différentes acquisitions 360° effectuées avec la Ladybug. Il est possible qu'en rajoutant des prises de vue le calcul de référencement jouerait mieux.

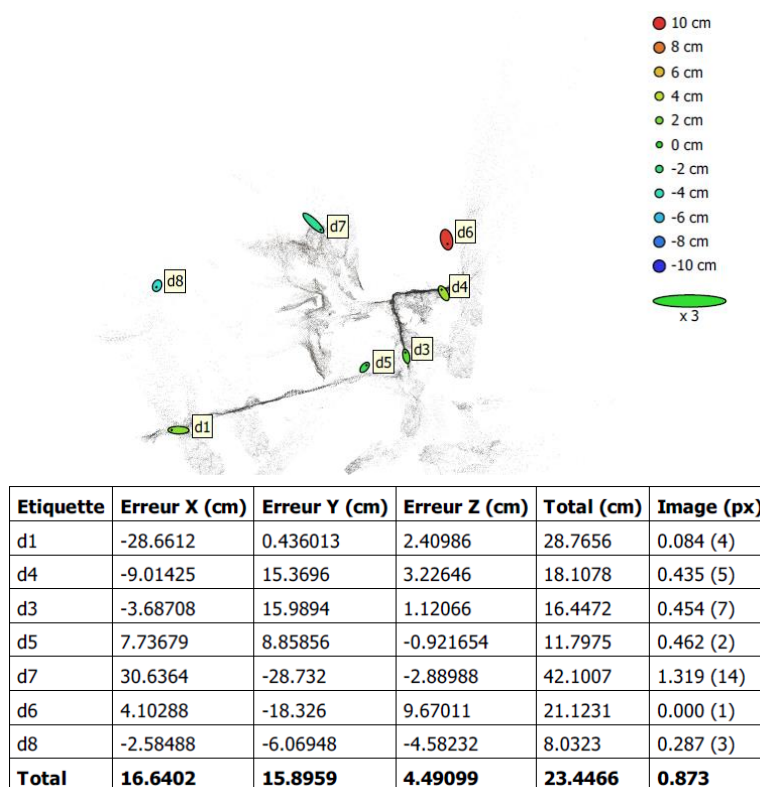


Figure 12 Résultat du référencement de la Ladybug



Figure 13 Position des prises de photos 360°



Afin de pouvoir quand même effectuer des tests de restitution avec la Ladybug, il a été effectué un calcul photogrammétrique avec la Ladybug et avec le Canon. Ainsi, le référencement de la Ladybug a une erreur moyenne de 7 mm (Figure 14) et il est alors possible d'effectuer de la restitution uniquement sur cette caméra. Par contre, il n'y a malheureusement pas été possible d'effectuer un nuage de points denses uniquement avec les caméras de la Ladybug pour une raison inconnue. Il n'y a donc pas eu de contrôle de la qualité du nuage.

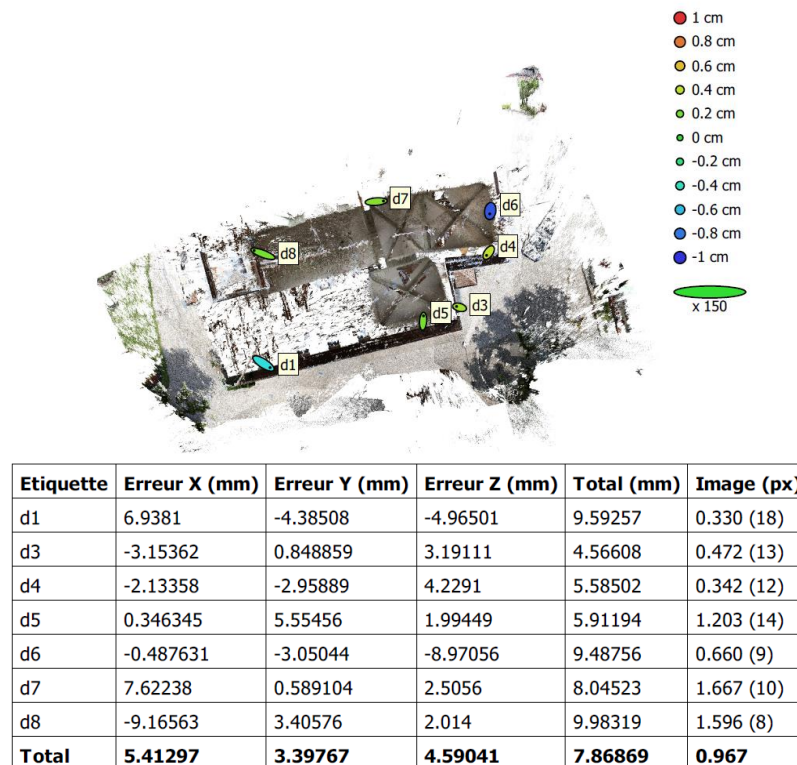


Figure 14 Résultat du référencement Canon et Ladybug

### Bebop

Pour la Bebop, il n'a malheureusement pas été possible de calculer la calibration de l'appareil photo avec Agisoft. Il a donc fallu utiliser le programme Pix4D. La qualité du référencement sur les cibles est à 1cm.

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X[m]	Error Y[m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
d1 (3D)	0.020/ 0.020	-0.007	-0.007	0.007	2.413	17 / 17
d4 (3D)	0.020/ 0.020	0.018	0.016	-0.007	1.000	7 / 7
129 (3D)	0.020/ 0.020	0.013	-0.002	-0.013	1.822	17 / 17
101 (3D)	0.020/ 0.020	-0.011	0.017	-0.005	2.640	21 / 21
124 (3D)	0.020/ 0.020	-0.005	-0.007	0.006	2.007	13 / 13
<b>Mean [m]</b>		0.001467	0.003673	-0.002520		
<b>Sigma [m]</b>		0.011661	0.010926	0.007491		
<b>RMS Error [m]</b>		0.011753	0.011526	0.007903		

Figure 15 Résultat du référencement de la photogrammétrie du drone Bebop

## 4. PHOTOGRAMMÉTRIE ET SCANNER

Ce référencement est une combinaison des méthodes. La première étape est de traiter la photogrammétrie seulement de l'extérieur comme expliqué au chapitre 3. Le référencement du scanner se fait alors sur nuage-nuage (chapitre 2.1) avec le nuage photogrammétrique comme référence.

En premier, l'assemblage photogrammétrie a été effectué uniquement avec les nuages (Figure 16). L'assemblage est correct. Un deuxième calcul a été effectué en ajoutant des cibles de liaison entre les nuages (Figure 17). Un poids plus petit a été saisi pour les cibles saisies dans le nuage de points de la photogrammétrie car ces cibles ont dû être mises à l'œil dans Cyclone. L'erreur maximum est de 5mm entre le nuage Faro et la photogrammétrie. Cette erreur est faible et était très probable vue la différence de qualité entre les nuages. Le nuage photogrammétrique n'est pas homogène.

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector	Group Error	Group Error Vector
Cloud/Mes...	Int_002	Int_001	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.003 m]	0.000 m	aligned [0.003 m]
Cloud/Mes...	Int_003	Int_002	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.005 m]	0.000 m	aligned [0.005 m]
Cloud/Mes...	dense-extérieur	Int_003	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.002 m]	0.009 m	aligned [0.002 m]

Figure 16 Assemblage de nuage-nuage

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector	Group Error	Group Error Vector
d7	Int_001	Int_002	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	0.001 m	(0.000, -0.001, 0.000) m
d5	Int_001	Int_002	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	0.001 m	(0.000, -0.001, 0.000) m
Cloud/Mes...	Int_002	Int_001	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.000 m	aligned [0.002 m]	0.000 m	aligned [0.002 m]
d4	Int_002	Int_003	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(-0.001, 0.000, 0.000) m	0.244 m	(-0.005, -0.006, -0.244) m
Cloud/Mes...	Int_003	Int_002	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.001 m	aligned [0.012 m]	0.191 m	aligned [0.012 m]
d4	dense-extérieur	Int_002	Coincident: Vertex - Vertex	On	0.5000	0.002 m	(-0.002, 0.000, 0.000) m	0.245 m	(-0.013, 0.008, 0.244) m
d3	dense-extérieur	Int_003	Coincident: Vertex - Vertex	On	0.5000	0.002 m	(0.001, -0.001, -0.001) m	0.011 m	(-0.011, -0.002, -0.003) m
d4	dense-extérieur	Int_003	Coincident: Vertex - Vertex	On	0.5000	0.003 m	(-0.003, 0.000, 0.001) m	0.018 m	(-0.018, 0.002, 0.000) m
Cloud/Mes...	dense-extérieur	Int_003	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.005 m	aligned [0.005 m]	0.001 m	aligned [0.005 m]

Figure 17 Assemblage de nuage-nuage avec des cibles de liaison