

La Photogrammétrie Peut-elle Remplacer La Topométrie Traditionnelle Pour du Levé de Bâtiments ?

GREGORY STEINER¹ & BERTRAND CANNELLE²

Résumé : Depuis une quinzaine d'années, l'émergence des techniques d'acquisition et de modélisation 3D pousse les professionnels de la construction à se tourner vers les géomètres, professionnels de la mesure, pour leurs besoins de modélisation ou mesures. Jusqu'alors et très bien implantée, la topométrie traditionnelle, tachéométrie et lasergrammétrie, a fait ses preuves pour du levé de bâtiments. Toutefois ces techniques peuvent s'avérer longues et coûteuses et l'investissement de départ peut en décourager plus d'un.

L'arrivée récente sur le marché public des drones, les capacités informatiques grandissantes, l'avancée des capteurs numériques et l'implémentation de procédés issus de la communauté de la vision par ordinateur créent un cocktail tridimensionnellement explosif ! La photogrammétrie numérique moderne est née, se démocratise à grands pas et devient accessible à un grand nombre de professionnels. Ces nouvelles technologies sont certes "sexy" mais peuvent-elles rivaliser avec les méthodes de topométrie traditionnelles ? Et à quel prix ? Le marché reste marginal et ces récentes technologies sont sujettes à de nombreuses interrogations en terme de résultats (précision, référencement, produits).

Les travaux et recherches effectués dans cet article démontrent qu'avec des méthodes simples et un équipement lowcost il est possible, à certaines conditions, de traiter un bloc photogrammétrique dont sa robustesse permet une modélisation et des mesures subcentimétriques par géoréférencement ou simple mise à l'échelle. Autre avantage certain de cette technologie : les images permettent des mesures stéréoscopiques sûres et indépendantes d'un nuage de points ou d'une modélisation. Ces résultats permettent de générer différents produits selon les besoins du client qui lui serviront de base d'analyse et de mesure. Nous présenterons, sur un même bâtiment, différents protocoles d'acquisition (acquisition en géométrie panoramique, utilisation de position GPS sur les images, mise à l'échelle, etc) ainsi que leurs précisions respectives.

1 Introduction

Depuis une quinzaine d'années, l'émergence des techniques d'acquisition et de modélisation 3D pousse les professionnels de la construction à se tourner vers les géomètres, professionnels de la mesure, pour leurs besoins de modélisation ou mesures. Jusqu'alors et très bien implantée, la topométrie traditionnelle, tachéométrie et lasergrammétrie, a fait ses preuves pour du levé de bâtiments. Toutefois ces techniques peuvent s'avérer longues et coûteuses et l'investissement de départ peut en décourager plus d'un.

Dans cet article, nous proposons d'étudier différentes configurations de chantiers photogrammétriques aussi bien au niveau de la matérialisation qu'au niveau des capteurs avec des méthodes simples et peu coûteuses qui pourraient être utilisées en complément ou à la place des méthodes habituelles.

Dans une première partie, nous présenterons le matériel utilisé, puis dans une seconde nous présenterons différentes configurations pouvant être utilisées pour atteindre des précisions centimétriques.

¹ Jean Hodler SA, Rte du Château d'Affry 6, CH-1762 Givisiez, www.hodlersa.ch

² HEIG-VD, Route de Cheseaux 1, CP 521, CH-1401 Yverdon-les Bains,
E-Mail bertrand.cannelle@heig-vd.ch

2 Matériels utilisés

2.1 Appareil photographique

L'appareil photo numérique utilisé est un Canon EOS 5D Mark III. Il possède une résolution de 22 MégaPixels, une très bonne dynamique d'image (14bits) ainsi qu'un temps de pose allant de 30 secondes à 1/8000 de seconde (CANON 2016). Il permet également de prendre des rafales de 6 images par seconde pour de l'acquisition rapide (ALLAZ & KASSER 2006). Dans notre cas, il est parfaitement utilisable pour prendre des photos dans un environnement sombre ou éclairé ainsi que pour des scènes avec des objets en mouvement.



Fig 1 : EOS 5D Mark III (WikipediaEOS 2016)

Tab. 1 : Taille du pixel en fonction de la focale et de la distance

	Objectifs (mm)					
	600	400	100	50	28	14
distance (m)	taille d'un pixel (mm)					
10	0,1	0,2	0,6	1,3	2,2	4,5
20	0,2	0,3	1,3	2,5	4,5	8,9
50	0,5	0,8	3,1	6,3	11,2	22,3
100	1,0	1,6	6,3	12,5	22,3	44,6



Fig. 2 : Tête panoramique avec l'appareil photo

Un autre intérêt de l'appareil photographique reflex est de pouvoir adapter l'objectif en fonction de l'objet à photographier et de la résolution souhaitée. Le tableau 1 ci-dessous donne quelques tailles de pixels en fonction de la distance à l'objet et de la focale choisie.

2.2 Plateforme d'acquisition : une tête panoramique motorisée

Le RODEON piXpert, commercialisé par la société Clauss (CLAUSS 2016) (figure 2), est une tête panoramique motorisée entièrement automatisée. Son plateau inclinable (pan-tilt-head en anglais) permet une rotation verticale et horizontale de 360°. La puissance de ses moteurs et son frein magnétique permettent de fixer, en toute sécurité, toute sorte de reflex numériques (même dotés de lourds téléobjectifs (CANNELLE 2015)), de caméras moyen format et de les positionner avec grande précision.

2.3 Matérialisation

Dans la photogrammétrie traditionnelle, il est d'usage d'utiliser des cibles connues en 3 dimensions dans la scène ou sur l'objet. Ces coordonnées sont souvent mesurées par des stations totales ou par GNSS. Nous avons choisi ici de tester des alternatives : mire de nivellement pour la mise à l'échelle ainsi que GNSS pour mesurer les sommets de prise de vue.

2.3.1 Mire de Nivellement

Le géomètre, dans son matériel traditionnel, possède des mires, utilisées habituellement pour faire du nivellement. Une mire présente l'avantage d'avoir une distance connue avec une grande précision (submillimétrique) ainsi que des graduations facilement identifiables dans les images. Une ou plusieurs mires peuvent être disposées dans la photographie afin de mettre le bloc photogrammétrique à l'échelle.



Fig. 3 : Mire de nivellement pouvant être utilisée pour la mise à l'échelle

2.3.2 GNSS

Le GNSS fait également partie du matériel traditionnel du géomètre. Il est habituellement utilisé pour du levé d'objet, pour de l'implantation ou encore pour de la mesure de réseaux géodésiques. Dans notre cas, nous allons l'utiliser pour mesurer la position des images ou de la tête panoramique présentée au 1.2. Il suffit alors de substituer la tête panoramique à l'antenne GNSS. La partie 3.2 décrit le processus complet.

2.4 Logiciel de compensation

Pour toute cette étude, nous avons choisi d'utiliser le logiciel Agisoft PhotoScan (AGISOFT 2016). Il permet de mesurer les points homologues automatiquement et de calculer les positions des images sans solution initiale. Il permet également, entre autre, de : mettre un modèle à l'échelle sans point d'appui, de fixer les sommets des images, et surtout de contraindre la position d'un groupe d'images : condition remplie lors de l'acquisition en géométrie panoramique. Cette dernière condition n'est, pour l'instant, pas remplie par les autres logiciels du marché comme Micmac (PIERROT-DESEILLIGNY & CLERY 2011) ou encore Pix4D (PIX4D 2016).

La saisie des points dans les images a été réalisée par mesure multi-images. En effet, ce type de chantier n'est pas propice à la mesure stéréoscopique car les images ne sont pas toujours prises dans les conditions standards : images parallèles entre-elles et plan image parallèle au « plan » de l'objet (MCGLONE et al. 2004). Un autre avantage à ce type de mesure et qu'elle ne nécessite pas de savoir-faire particulier au niveau de l'opérateur. Enfin la saisie peut être faite dans un grand nombre d'image, ce qui permet d'augmenter la précision du pointé : le point 3D correspond à l'intersection de tous les faisceaux issus de toutes les images.

Après avoir présenté le matériel utilisé nous allons maintenant nous intéresser aux différentes techniques permettant un relevé

3 Protocoles d'acquisitions pour du levé de bâtiments

Dans cette partie, nous allons présenter plusieurs façons de géoréférencer des images sans utiliser de cible ou de point naturel et dans des configurations historiquement peu recommandées en photogrammétrie.

3.1 Imagerie panoramique et levé de grande hauteur

La première configuration est l'utilisation de panoramiques (cônes verts sur la figure 4) avec une simple mise à l'échelle pour du levé de façade en utilisant une mire de nivellement présente sur les photos. Le principe est de faire 3 stations panoramiques afin d'avoir de la tri-stéréo sur tout l'ouvrage. Deux focales différentes sont choisies (cône vert clair et vert foncé) afin d'avoir la même résolution sur l'ouvrage : une focale deux fois plus longue pour une panoramique deux fois plus loin (voir figure 4). Les positions des stations panoramiques ont été choisies afin d'éviter les configurations « dégénérées » : trois stations alignées par exemple.

Ensuite, nous avons choisi d'utiliser une mire de nivellement (cf partie 1.3.1), en rouge sur la figure 4 afin d'effectuer la mise à l'échelle en la disposant sur la partie basse du chantier (trait rouge 1-2 sur la figure 4).

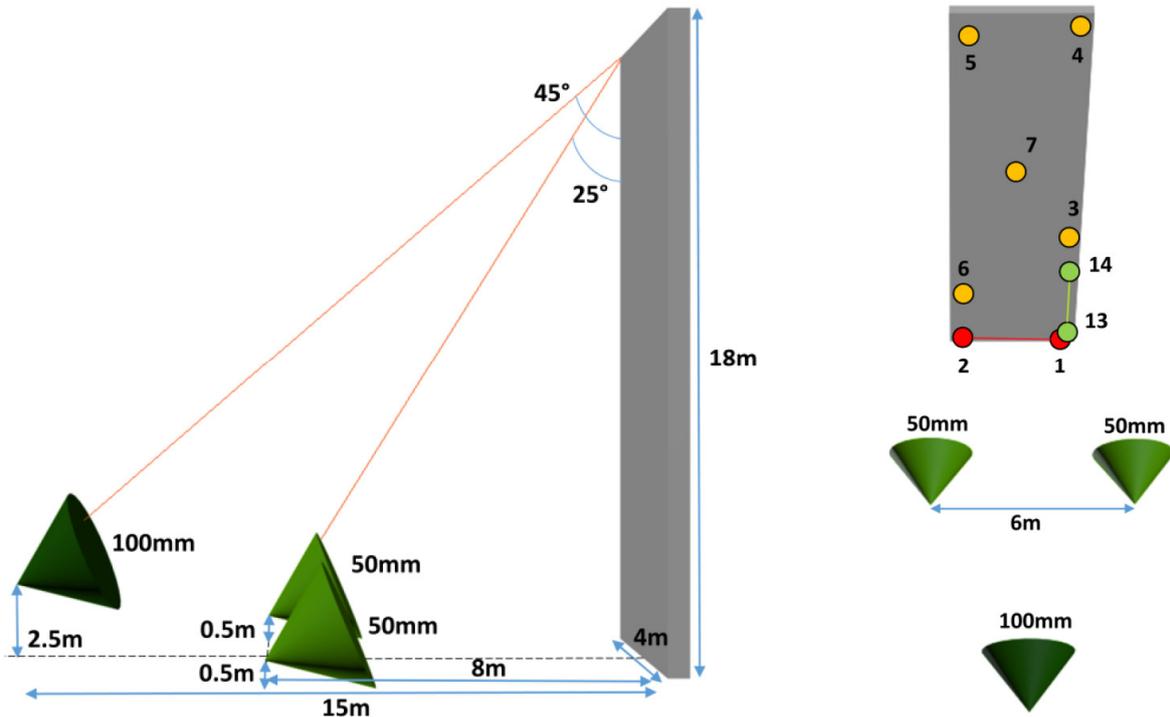


Fig. 4 : Protocole de mesure de façade par station panoramique et mire de nivellement

Le tableau 2 et la figure 5 présentent les résultats de l'expérimentation. La première constatation est que le recouvrement des images au sein d'une même panoramique n'est pas significatif : on peut donc choisir un recouvrement minimal (une dizaine de pourcents) afin de garantir des liens entre les images et de limiter le temps d'acquisition et de calculs.

Ensuite, en faisant une mise à l'échelle au bas du bloc, nous arrivons à des erreurs sur les mesures de distances sur tout le reste de l'ouvrage en moyenne à 5mm près, même sur les distances au sommet de la façade. Ce protocole est donc tout à fait adapté pour du relevé centimétrique géoréférencé : ce qui convient à certains travaux d'architecture et de relevés patrimoniaux.

Tab. 2 : Résultats Protocole de mesure de façade par station panoramique et mire de nivellement

		Recouvrement 70% H, 265 img, 977'007 TP e.o. 8.46, m.t. 2 h				Recouvrement 40% H, 41 img, 419'465 TP e.o. 3.14, m.t. 30 min			Recouvrement 10% H, 17 img, 120'609 TP e.o. 2.53, m.t. 2 min		
Base	d_i [m]	l_i [m]	$\Delta l_i - d_i$ [mm]	ppm	l_i [m]	$\Delta l_i - d_i$ [mm]	ppm	l_i [m]	$\Delta l_i - d_i$ [mm]	ppm	
1-2	3.970	3.970	0		3.970	0		3.970	0		
13-14	1.800	1.800	0		1.800	0		1.800	0		
3-4	14.728	14.733	5	339	14.734	6	407	14.723	-5	-340	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
6-7	6.245	6.247	2	320	6.248	3	480	6.246	1	160	
$\overline{ x }$			4	423		5	493		3	284	

La figure 5 présente un résultat possible pouvant être transmis au commanditaire : une orthophoto métrique, sur laquelle les distances peuvent être mesurées. Le principal avantage de ce produit est de laisser le commanditaire choisir les objets à mesurer.

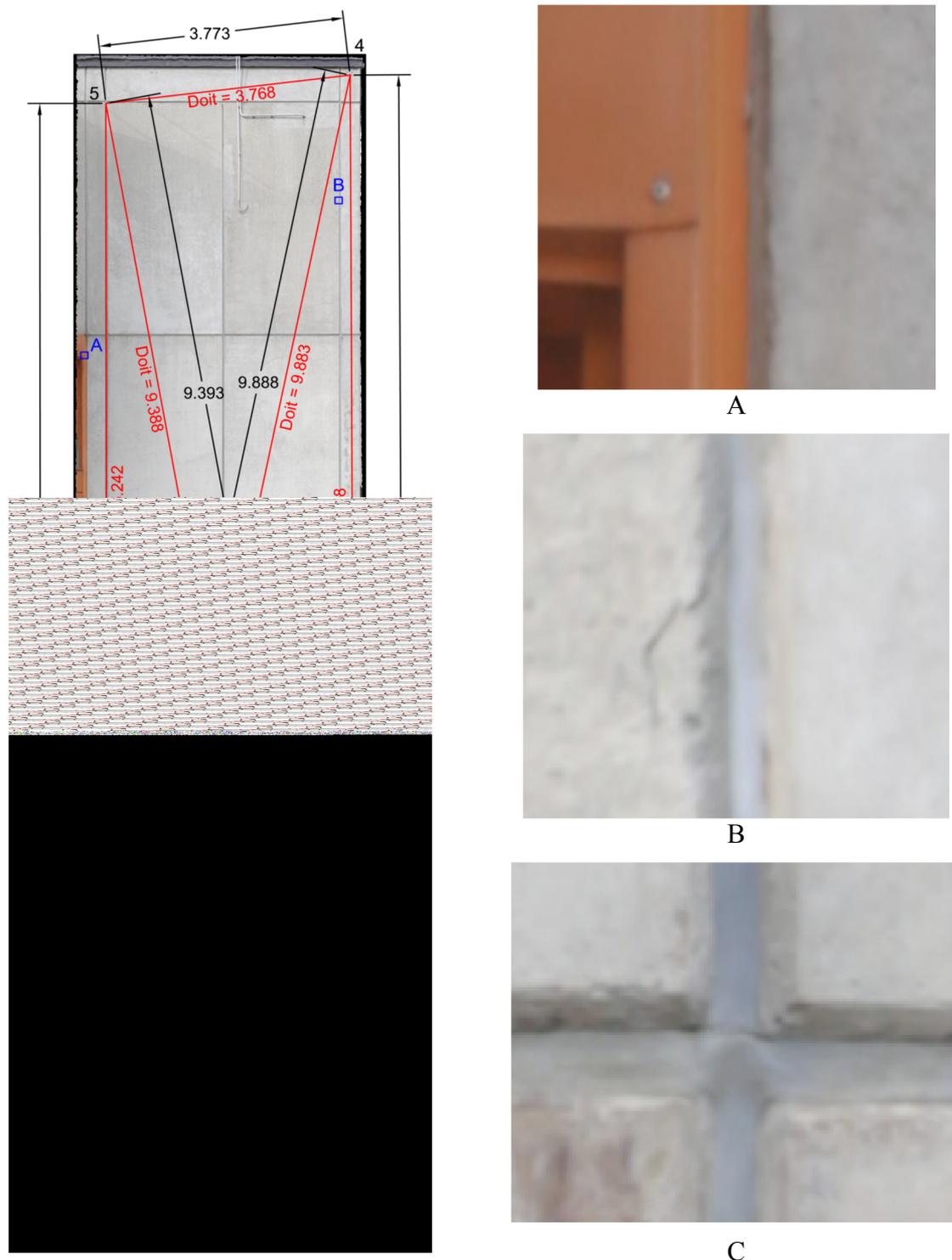


Fig. 5 : mesures DAO sur orthomosaïque 2mm de la façade et échantillons de détails.

3.2 Imagerie panoramique pour du levé de bâtiment et positionnement GNSS

Le principe de cette méthode est de mesurer la position des panoramiques par GNSS. On substitue la tête panoramique par une antenne GNSS comme sur la figure 6. Le principal avantage est de ne pas à avoir à disposer de cibles 3D ou de détails à mesurer, ni de mise à l'échelle. En effet, le géoréférencement est effectué en fixant la position 3D de plusieurs panoramiques. Cela fixe également le facteur d'échelle du bloc. Ensuite, le reste du chantier est

traité par photogrammétrie « standard » : calcul de points homologues et assemblage des images en utilisant la contrainte de position sur les sommets mesurés par GNSS.



Fig. 6 : Antenne GNSS substituée à la tête panoramique

Nous avons testé deux configurations différentes : 7 panoramiques fixées ou 4 panoramiques fixées (K1 et K2 sur la figure 7) afin d'évaluer l'influence du nombre de station GNSS.

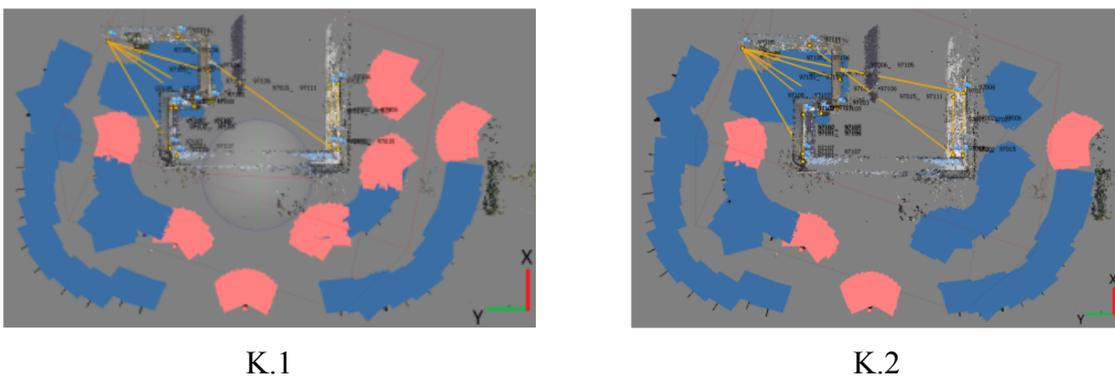


Fig. 7 : Configurations testées : en rose, les panoramiques fixées, en bleu, le reste des images

Le tableau 3 présente les résultats des 2 acquisitions. Sur les deux chantiers présentés, la précision 3D des points est de l'ordre du centimètre : précision du GNSS RTK. On arrive donc à géoréférencer nos images avec la même précision que notre outil de géoréférencement. La configuration à 7 stations GNSS est légèrement meilleure que celle à 4 (de 3mm) : la configuration minimale peut donc être utilisée.

Tab. 3 : Précision sur les coordonnées 3D mesurées par photogrammétrie.

Point	Test K.1. 7 stations RODEON-VR TK M, 586 img, 993'198 TP e.o. 3.9, m.t. 7 h				Test K.2. 4 stations RODEON-VR TK M, 586 img, 993'198 TP e.o. 3.9, m.t. 7 h			
	$\Delta 3D$ [mm]	ΔX [mm]	ΔY [mm]	ΔZ [mm]	$\Delta 3D$ [mm]	ΔX [mm]	ΔY [mm]	ΔZ [mm]
Station 1	16.4	4.3	13.1	8.8	21.2	7.3	18.8	6.5
Station 2	18.3	10.0	13.0	-8.1	27.7	12.7	21.4	-12.1
Station 3	14.1	-9.2	-2.9	-10.3	13.8	-7.7	0.4	-11.4
Station 4	25.4	-12.8	17.5	-13.3	29.4	-14.7	20.6	-15.0
Station 5	12.7	-8.6	-8.8	3.0	3.8	-3.4	-1.7	0.1
Station 6	11.6	8.4	-7.4	3.1	10.9	8.4	-6.2	2.9
Station 7	12.9	3.4	-4.8	11.5	9.0	-0.7	-0.8	8.9
7002	24.8	8.7	16.4	-16.3	31.8	11.0	22.4	-19.7
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
7115	38.5	14.3	26.5	-23.9	43.4	11.4	31.8	-27.4
Moyenne [mm]	32.8				35.3			

Les résultats précédents montrent que nous obtenons une précision centimétrique sur les points, autrement dit de géoréférencement global. Le tableau 4 présente les résultats de cohérence « interne » du processus. Cela permet de renseigner sur la précision des distances entre objet que l'on peut obtenir malgré un géopositionnement à 3 cm. Les résultats montrent que sur 11 distances mesurées (en jaune sur la figure 7), la cohérence des distances est meilleure que le centimètre. Cela signifie que l'on peut mesurer des distances de l'ordre du centimètre malgré des références précises à 3 cm ! En effet, la mise à l'échelle est faite en utilisant toutes les mesures mais il peut y avoir un biais résiduel.

Tab 4 : Précision des distances mesurées par photogrammétrie.

Base	Test K.1. 7 stations RODEON-VR TK M, 586 img, 993'198 TP e.o. 3.9, m.t. 7 h				Test K.2. 4 stations RODEON-VR TK M, 586 img, 993'198 TP e.o. 3.9, m.t. 7 h		
	d_i [m]	l_i [m]	$\Delta l_i - d_i$ [mm]	<i>ppm</i>	l_i [m]	$\Delta l_i - d_i$ [mm]	<i>ppm</i>
7002-7006	5.616	5.617	1	178	5.617	1	178
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
7107-7108	3.605	3.609	4	1108	3.609	4	1108
$\overline{ x }$			9	1027		8	948

3.3 Comparaison avec la lasergrammétrie

Lors de la mise en place de ce chantier, le bâtiment a fait l'objet d'une modélisation lasergrammétrique de référence. Le but de ce test est d'observer les différences entre ces deux différentes méthodes de modélisation. La comparaison du modèle entre le Canon 5D et la lasergrammétrie traditionnelle montrent que 68% des écarts se situent à ± 5 mm et 95% à ± 10 mm. Les 5% restant qui s'écartent du centimètre sont les arrêtes et les encastremets qui restent difficiles à modéliser (avec les 2 techniques). La figure 8 ci-dessous représente deux

Un autre avantage de la technique est de pouvoir compléter les mesures 3D si nécessaire en utilisant les images acquises (sous réserve que l'objet ait été photographié dans au moins 2 images) sans devoir revenir sur le terrain.

Ces techniques sont également peu coûteuses en travail de terrain et en équipement sur place et peuvent être réalisées même si le bâtiment est difficile d'accès ou dangereux car les images se font à distance et sans ajout de cibles directement sur l'objet.

6 Références

AGISOFT, 2016: <http://www.agisoft.com/>, accessible le 28/04/2016.

ALLAZ, G. & KASSER, M., 2016: Auscultation de l'état de surface de revêtements routiers par photogrammétrie automatisée. *Revue XYZ*, numero 146, 1er trimestre 2016, 52-58.

CANNELLE, B., 2015: Les outils du paparazzi au service de la surveillance d'ouvrage ?. *Geomatique Suisse* (9), 376-379.

CANON, 2016: http://fr.canon.ch/for_home/product_finder/cameras/digital_slr/eos_5d_mark_iii/, accessible le 28/04/2016.

CLAUSS, 2016: <http://dr-clauss.de/en/foto-studiotechnik-3/rodeon-pix-series-eng-3>, accessible le 28/04/2016.

MCGLONE, J., MIKHAIL, E., BETHEL, J. & MULLEN, R., 2004: *Manual of photogrammetry* (5th Edition). American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1151 p.

PIERROT-DESEILLIGNY, M. & CLERY, I., 2011: APERO, an Open Source Bundle Adjustment Software for Automatic Calibration and Orientation of a Set of Images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **38** (5/W16), 269-276.

PIX4D, 2016: <https://pix4d.com/>, accessible le 28/04/2016.

WIKIPEDIAEOS, 2016: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Canon_EOS_5D_Mark_II_with_50mm_1.4_edit1.jpg, accessible le 28/04/2016.