



HAL
open science

Étude sur la réalisation d'un levé d'intérieur par photogrammétrie via un smartphone

Maxence Augé

► **To cite this version:**

Maxence Augé. Étude sur la réalisation d'un levé d'intérieur par photogrammétrie via un smartphone. Sciences de l'environnement. 2021. dumas-03479615

HAL Id: dumas-03479615

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03479615>

Submitted on 14 Dec 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS
ÉCOLE SUPÉRIEURE DES GÉOMÈTRES ET TOPOGRAPHES

MÉMOIRE

présenté en vue d'obtenir

le DIPLÔME NATIONAL DE MASTER
« Sciences, Technologies, Santé »

Mention « Identification, Aménagement et gestion du Foncier »

par

Maxence Augé

Étude sur la réalisation d'un levé d'intérieur par photogrammétrie via un
smartphone

Soutenu le 09 juillet 2021

JURY

PRESIDENT :	Madame Élisabeth BOTREL	Président de jury
MEMBRES :	Monsieur Jérémie ROBERT	Professeur référent
	Monsieur José CALI	Examineur
	Madame Aurélie GROSJEAN	Maître de stage

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier ma maître de stage Mme Aurélie GROSJEAN qui m'a accueilli au sein de son entreprise en mettant à ma disponibilité les ressources nécessaires pour mener mon projet dans de bonnes conditions. Elle a aussi pris le temps de m'accompagner dans mes démarches et de répondre à mes questions.

Je remercie ensuite l'ensemble de mes collègues d'Axis Conseils pour m'avoir accueilli et intégré au sein de l'entreprise. Je remercie Mme Céline SALMON qui m'a particulièrement aidé dans mes recherches. Elle m'a fait part de ses connaissances et de son expérience en photogrammétrie. Elle a aussi pris le temps de m'expliquer l'utilisation du scanner laser et des différents logiciels de CAO/DAO pour traiter des données acquises par un scanner laser.

Je remercie également M. Benjamin MONTIGNY qui s'est intéressé à mon sujet même si celui-ci n'était pas dans son domaine d'expertise. Je remercie M. Thomas Philippot avec qui j'ai effectué diverses missions topographiques, il a aussi été de bon conseil en me partageant son expérience sur le terrain.

Pour finir, je remercie M. Jérémie ROBERT, mon professeur référent pour ses conseils et sa réactivité pour répondre à mes questions tout au long du projet ; ainsi que l'ensemble de l'équipe pédagogique au sein de l'École Supérieure des Géomètres Topographes.

Liste des abréviations

CAO : Conception Assisté par Ordinateur

CDC : Cahier des charges

DAO : Dessin Assisté par Ordinateur

ENSG : École Nationale des Sciences Géographiques

ESGT : École Supérieure des Géomètres Topographes

EMQ : Écart Moyen Quadratique

GLA : Goss Leasing Area

JORF : Journal Officiel de la République Française

OGE : Ordre des Géomètres Experts

Photo : Photographie

TFE : Travail de Fin d'Études

Vidéo : Vidéographie

3D : Trois Dimensions (X, Y, Z)

Glossaire

La GLA : Surface hors-œuvre nette d'un local commercial augmenté des auvents, paliers extérieurs et gaines techniques.

Photogrammétrie multi-vues : Acquisition d'images avec des visées parallèles et convergentes.

Photogrammétrie traditionnelle : Acquisition d'images avec des visées peu convergentes et axes de prises de vue presque parallèles permettant l'observation du relief par stéréoscopies.

Point homologue : Point sur différentes images qui correspondent au même détail sur le terrain.

Surface privative dite loi Carrez : Surface obligatoirement mentionnée dans les promesses ou compromis de vente d'un lot de copropriété.

Surface habitable : Surface de plancher construite, après déduction de certaines surfaces définies par l'article R. 111-2 du code de la construction et de l'habitation.

Surface de plancher : Surface totale de chaque niveau d'un espace clos et couvert, calculée à partir du nu intérieur des façades. Les toitures terrasses, loggias et balcons ne sont pas considérés comme étant des éléments clos et couverts d'après l'article R. 111-2 du code de l'urbanisme.

Surface utile : Calculée à partir de la surface à laquelle on ajoute 50% de la superficie des annexes, d'après l'article R. 353-16 du code de la construction et de l'habitation.

Zone d'occlusion : Partie non visible sur une photographie d'un objet, due à une impossibilité de la photographier ou due à un manque de photo empêchant sa modélisation 3D.

Table des matières

Remerciements	2
Liste des abréviations	3
Glossaire	4
Table des matières	5
Introduction	8
I ÉTAT DE L'ART	10
I.1 COMPARAISON DES METHODES DE LEVE D'INTERIEUR PAR FERNANDEZ-CUIRET	10
I.1.1 Thématique du sujet étudié	10
I.1.2 Méthodologie entreprise par l'étudiant	10
I.1.3 Résultat des comparaisons des méthodes de levé d'intérieur	11
I.1.4 Conclusion du projet de comparaison sur les méthodes de levé d'intérieur	12
I.2 LE SCANNER LASER MOBILE UN OUTIL POUR LES LEVES D'INTERIEUR.....	12
I.2.1 Thématique du sujet étudié	12
I.2.2 Retour d'expérience par des professionnels.....	12
I.2.3 Conclusion sur les scanners laser mobiles	14
I.3 UTILISATION D'UN SMARTPHONE POUR DES MISSIONS DE RECOLEMENT PAR SEELEN A.....	15
I.3.1 Thématique du sujet étudié	15
I.3.2 Méthodologie entreprise par l'étudiante	15
I.3.3 Résultats obtenus	16
I.3.4 Conclusion sur les différents tests d'acquisition des données via un smartphone	17
I.4 LA PHOTOGRAMMETRIE AU SERVICE DU PROJET MOSSOUL PAR LEBLAN C, COUDERETTE F, MAGNETTI A ET MESAL L	18
I.4.1 Thématique du sujet étudié	18
I.4.2 Méthodologie entreprise par les étudiants	18
I.4.3 Résultat de l'étude comparative	19
I.4.4 Conclusion sur les méthodologies à adopter pour la photogrammétrie	20
I.5 GUIDE POUR LA PRISE DE VUE PHOTOGRAPHIQUE	21
I.5.1 Thématique du sujet étudié	21
I.5.2 Résultat du guide pratique.....	21
I.5.3 Conclusion des informations apportées par le guide	23
II ÉLABORATION DU CAHIER DES CHARGES	23
II.1 CONTEXTE DE L'ETUDE	24
II.2 DEFINITION DES OBJECTIFS ET DES PROBLEMES DE L'ETUDE.....	24
II.2.1 Définition des objectifs	24
II.2.2 Définition des problèmes	24
II.3 DEFINITION DES CONTRAINTES TECHNIQUES	26
II.3.1 Précision du levé suivant les surfaces à mesurer.....	26
II.3.2 Critères de base pour le choix de gamme d'un smartphone	27
II.3.3 Définition des ressources	28
II.3.4 Délai.....	28
III EXPERIMENTATIONS ET PHASES DE TESTS REALISEES.....	28
III.1 CONSTITUTION D'UNE BASE DE DONNEES REFERENTE	28
III.2 TEST N°1 : ÉTUDE SUR LA REALISATION D'UN PREMIER NUAGE DE POINTS 3D PAR PHOTOGRAMMETRIE VIA UN SMARTPHONE	29

III.2.1	Méthodologie de comparaison.....	29
III.2.2	Résultat de la comparaison sur l'angle de visée lors d'une acquisition de photo pour un levé d'intérieur	31
III.2.3	Constat d'une première problématique sur le nuage de points.....	33
III.3	TEST N°2 : MISE EN EVIDENCE DE L'IMPORTANCE D'UNE SURFACE RECOUVERTE PAR DE DIVERS MOTIFS	34
III.3.1	Levé de la salle de réunion d'Axis Conseils	35
III.3.2	Levé d'un logement étudiant	37
III.4	TEST N°3 : ÉTUDE SUR LE COMPORTEMENT A ADOPTER PAR L'UTILISATEUR LORS D'UNE ACQUISITION DE PHOTO.....	39
III.4.1	Déplacement à adopter pour l'acquisition de photo	40
III.4.2	Déplacement à adopter pour l'acquisition de photo dans un milieu encombré.....	42
III.5	TEST N° 4 : ÉTUDE SUR LES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE L'APPAREIL PHOTO D'UN SMARTPHONE.....	43
III.5.1	Influence de la résolution d'un appareil photo de smartphone.....	43
III.5.1.1	Résultat sur l'utilisation de différentes résolutions d'appareils photos.....	44
III.5.1.2	Conclusion sur la qualité du nuage de points dense avec différentes résolutions d'un smartphone	45
III.5.2	Caractéristiques techniques d'un smartphone pour augmenter la quantité de lumière sur une série de photo.....	46
III.6	TEST N°5 : TRAITEMENT DES DONNEES SUR AGISOFT METASHAPE POUR UN LEVE D'INTERIEUR VIA UN SMARTPHONE	47
III.6.1	Configuration du logiciel Agisoft Métashape pour traiter les données acquises sur le terrain	47
III.6.2	Calibration de l'appareil photo du smartphone Huawei P30 Lite	49
III.6.3	Mise à l'échelle du nuage de points 3D	50
III.6.4	Export du nuage de points 3D	51
III.6.5	Conclusion sur le traitement des données sur Agisoft Métashape.....	52
III.6.6	Évaluation sur la précision absolue et relative du nuage de points 3D.....	52
IV	LEVE D'INTERIEUR EN CONDITION PROFESSIONNELLE.....	54
IV.1	INTRODUCTION	54
IV.2	COMPARAISON SUR LE TEMPS DE TRAVAIL.....	54
IV.3	ANALYSE SUR LES PRECISIONS DU NUAGE DE POINTS 3D.....	55
IV.4	REALISATION DU PLAN 2D ET COMPARAISON DES SURFACES.....	56
IV.4.1	Réalisation du plan.....	56
IV.4.2	Comparaisons des surfaces entre le levé au scanner laser Leica BLK 360 et un Huawei P30 Lite	57
	Conclusion.....	58
	Bibliographie	60
	Table des annexes.....	63
	Annexe 1 Tableau récapitulatif du cahier des charges	64
	Annexe 2 Tableau récapitulatif sur le Test n°1 : calculs sur les angles de visées.....	65
	Annexe 3 Test n°3 : étude sur le comportement à adopter par l'utilisateur lors d'une acquisition de photo.....	67
	Annexe 4 Tableau récapitulatif sur le Test n°4 : comparaison des nuages de points obtenus avec différentes résolutions	67
	Annexe 5 Fiche technique de l'appareil photo du smartphone Huawei P30 Lite	68

Annexe 6 Tableau récapitulatif sur le Test n°5 : temps de traitement des données sur Agisoft Métashape.....	69
Annexe 7 Tableau des calculs sur la calibration de l'appareil photo du Huawei P30 Lite pour une distance focale de 4.25 mm	70
Annexe 8 Tableau des calculs sur la précision relative et la précision absolue	71
Annexe 9 Tableau des calculs sur la précision relative et la précision absolue	72
Liste des figures.....	73
Liste des tableaux	74

Introduction

Un cabinet de Géomètre-Expert réalise différentes missions qui sont décrites par l'ordre des géomètres experts dans le « recueil des prestations¹ » apparu en 2018. Ce recueil fait mention de dix prestations auxquelles un géomètre expert peut être confronté. Pour réaliser ces missions le géomètre dispose de multiples outils de travail. Le but est d'avoir l'outil le plus performant pour répondre avec précision et rapidité à la demande pour laquelle on l'a sollicité.

L'une des dix prestations que le géomètre expert effectue est la réalisation de copropriété. Elle comprend l'établissement de l'état descriptif de division et le calcul des quotes-parts des parties communes. Pour ce faire le géomètre doit dresser le plan d'intérieur de cette copropriété.

Le plan d'intérieur est aussi demandé dans le cas d'une transaction immobilière comme la vente, la location ou même la gestion d'un bâtiment. Le géomètre expert doit effectuer les plans par niveau du bâtiment pour donner soit une superficie habitable soit une superficie de plancher, voire d'autres types de surface selon les besoins. Une fois encore on voit l'importance pour un géomètre expert d'avoir à sa disposition du matériel et des outils performants pour réaliser un plan d'intérieur de qualité et dans les meilleurs délais au vu du marché et de la concurrence qu'il peut y avoir.

Différentes études ont analysé et listé les méthodes de travail disponibles pour qu'un géomètre expert puisse effectuer les plans d'intérieur. Il est de coutume de mesurer un groupement de pièces via un distance-mètre ou un mètre ruban. Nous pouvons aussi utiliser un tachéomètre qui est l'outil de référence pour le géomètre expert. Enfin, depuis quelques années il est fréquent d'utiliser un scanner 3D qui présente plusieurs avantages pour réaliser ces mesures. Il existe aussi une autre méthode de lever qui est moins pratiquée dans ce contexte, cette méthode est la photogrammétrie. Les principes de la photogrammétrie *«Consistent à prendre des clichés aériens ou terrestres et à les exploiter pour déterminer la forme, les dimensions, la position de la partie photographiée.² »*.

1 Source : http://www.geometre-expert.fr/upload/docs/application/pdf/2019-06/recueildesprestations_01_web.pdf

2 Source : http://www.geometre-expert.fr/upload/docs/application/pdf/2019-06/recueildesprestations_01_web.pdf

Actuellement les technologies ne font qu'évoluer et leurs performances s'accroissent de jour en jour. Mais l'un des inconvénients est qu'ils sont coûteux et de ce fait inaccessibles pour certains géomètres-experts. Une des technologies qui évolue et qui est en possession de l'ensemble de la population est le smartphone, on le connaît pour ses multiples fonctions. Les développeurs de smartphone se penchent depuis peu sur la qualité photographique que leurs appareils pourront offrir aux utilisateurs, il serait intéressant de combiner la bonne qualité photographique qu'offrent les smartphones et la photogrammétrie pour réaliser les plans d'intérieurs. L'avantage serait le coût d'investissement car un smartphone coûterait moins cher qu'un scanner 3D et surtout qu'il est accessible par tous. L'un des enjeux de cette technique serait d'offrir à des cabinets de géomètre-expert, ne pouvant investir dans un scanner 3D, la possibilité de faire des plans d'intérieurs plus rapidement qu'une méthode traditionnelle et en trois dimensions, car ces plans sont de plus en plus sollicités par les clients.

Le cabinet Axis-Conseils, SARL de Géomètres-Experts, s'est porté volontaire pour essayer de mettre en place cette nouvelle méthode de travail. Le but est de voir si elle correspondrait aux attentes qu'on lui aura fixées pour ensuite l'intégrer au sein d'une des sept agences. La société utilise beaucoup le scanner 3D pour effectuer les levés d'intérieur mais toutes les agences la composant n'ont pas à leur disposition un scanner 3D. Il serait intéressant pour le cabinet d'avoir une alternative pour produire des plans.

L'objectif de ce projet est de solliciter la photogrammétrie pour réaliser des levés d'intérieur et ainsi permettre le dressage de plan d'intérieur, avec comme outil de travail un smartphone. Cette nouvelle méthode de travail devra répondre à des critères et des performances fixés en amont qui serviront de référence pour valider le projet.

I État de l'art

Cette partie est consacrée aux différents travaux de recherche réalisés sur la photogrammétrie, sur les différentes techniques de levés d'intérieur et sur l'utilisation des smartphones comme outil de mesure. Elle va structurer le projet en permettant de comprendre les outils déjà acquis par les géomètres et topographes, pour répondre aux missions de levé d'intérieur et voir si le smartphone, l'outil central de l'étude, a déjà été employé dans divers domaines de mesure.

I.1 Comparaison des méthodes de levé d'intérieur par Fernandez-Cuiret

I.1.1 Thématique du sujet étudié

Une étude s'intitulant : « Étude comparative des différentes méthodes du levé d'intérieur d'un bâtiment en vue de réhabilitation et analyse des besoins et des moyens d'un architecte dans le but de produire une modélisation 3D optimale » (S. Fernandez-Cuiret, 2013), a démontré quatre méthodes d'acquisition au sein des géomètres/topographes permettant de faire des levés d'intérieur. Ces méthodes d'acquisitions sont : la méthode dite traditionnelle, la méthode par plan d'intérieur compensé, la méthode tachéométrique et la méthode de scannérisation 3D.

I.1.2 Méthodologie entreprise par l'étudiant

Le TFE a constaté l'existence de quatre méthodes d'acquisition qui ont été comparées les unes par rapport aux autres en abordant les thèmes suivants : le coût d'investissement à la fois du matériel et des outils de traitement de données, ensuite il a été question de comparer le temps requis par un technicien pour réaliser une mission de levé d'intérieur et pour finir l'étudiant a fait une comparaison sur la précision des levés et des plans dressés. Toutes ces comparaisons avaient pour but de déterminer un compromis satisfaisant entre la précision des résultats, le temps nécessaire et la rentabilité pour un cabinet de géomètre.

I.1.3 Résultat des comparaisons des méthodes de levé d'intérieur

L'étude a révélé que la méthode traditionnelle est la moins coûteuse en investissement de matériel. Elle nécessite seulement un distance mètre qui est un outil utilisé et en possession de la quasi-totalité des géomètres/topographes. En contrepartie de ce faible investissement, l'étude a constaté une durée de réalisation conséquente et la possibilité de faire un grand nombre d'erreurs lors de l'acquisition des données, car cette technique n'est pas assez précise. Ce qui a amené à conclure que cette méthode est dépassée et ne convient plus aux cabinets de géomètres experts cherchant l'efficacité, la précision et la rentabilité.

Ensuite la deuxième méthode étudiée lors de ce TFE, est la méthode par plan d'intérieur compensé. Il s'avère que cette technique combine plusieurs avantages comme le coût d'investissement par rapport au temps global passé pour réaliser des plans d'intérieurs ainsi que la précision obtenue. En effet, le mode d'acquisition utilise un télémètre laser connecté à une tablette, l'avantage étant la possibilité d'établir la quasi-totalité de son plan sur la tablette. L'opérateur peut contrôler en direct les mesures réalisées et ainsi corriger les incohérences rencontrées.

La troisième approche pour réaliser des levés d'intérieur est la méthode par tachéomètre. S. Fernandez-Cuiret expose que ce mode d'acquisition est le moins utilisé par les géomètres experts, car il nécessite des configurations de pièces assez dégagées puisque le tachéomètre est encombrant. Mais dans l'hypothèse où la configuration des pièces est convenable pour travailler, alors c'est un mode d'acquisition très performant du fait de la rapidité des prises de mesures. Cette méthode ne nécessite pas un surcoût pour un cabinet de géomètres-experts car le tachéomètre est l'outil principal pour ces praticiens puisqu'il est utilisé pour d'autres missions topographiques. Le dernier atout est la simplicité du report graphique ainsi que sa qualité de précision de l'ordre du centimètre.

La dernière méthode d'acquisition analysée est la méthode de scannérisation 3D. C'est la méthode la plus développée par les cabinets de géomètres topographes de nos jours. Elle permet une densification des mesures avec une acquisition performante et très rapide. L'étude l'a comparée au tachéomètre. Il ressort de la comparaison que le scanner 3D est moins encombrant qu'un appareil de topométrie classique, car il existe des scanners 3D plus petits comme le Trimble TX5 qui est justement le scanner 3D choisi sur cette étude comparative des méthodes de lever d'intérieur. De plus, le rendement et la précision sont plus

performants avec un scanner 3D qu'avec un tachéomètre car le scanner 3D a la capacité de mesurer des millions de points en quelques minutes.

I.1.4 Conclusion du projet de comparaison sur les méthodes de levé d'intérieur

La conclusion de cette étude est que dans le cadre d'un levé d'intérieur 2D la méthode du plan d'intérieur compensé est la plus performante. En revanche dans le cas où nous aurions besoin d'un lever 3D, qui sont de plus en plus prisés par les architectes ou professionnels de la construction, ou dans le cas où la configuration des pièces n'est pas toujours de forme classique, ou si l'on a à lever un bâtiment de grande envergure, c'est la méthode par scannérisation 3D qui sera la plus performante.

Il serait intéressant d'envisager une nouvelle méthode d'acquisition de données pour la réalisation d'un levé d'intérieur. Il existe une autre méthode de travail non citée dans ce TFE du fait qu'elle a émergé depuis maintenant un peu plus de cinq ans et que les géomètres/topographes commencent à l'utiliser, c'est le scanner laser mobile. La revue professionnelle Géomètre a publié un article sur ce sujet cette année. Il sera intéressant d'effectuer une analyse sur cette méthode moderne d'acquisition pour voir l'influence de la mobilité lors d'un mesurage. Pour finir, une interrogation se pose puisque l'étude conclut sur le fait que le scanner 3D est la méthode la plus performante pour effectuer un levé d'intérieur. Alors serait-il possible d'atteindre un tel niveau de performance avec l'acquisition par photogrammétrie via un smartphone ; le déroulement de l'étude nous permettra de le savoir.

I.2 Le scanner laser mobile un outil pour les levés d'intérieur

I.2.1 Thématique du sujet étudié

La revue professionnelle Géomètre a mis en avant une technologie qui émerge depuis quelques années dans l'article : « Scanners laser mobiles les solutions récentes » (Géomètre, 2021). Le scanner laser mobile est souvent employé pour réaliser des levés extérieurs, mais essentiellement pour des levés intérieurs. Plusieurs témoignages d'utilisateurs ont été recueillis, ils soulignent les avantages et les inconvénients qu'offre cet outil de mesure.

I.2.2 Retour d'expérience par des professionnels

Les géomètres experts s'initient depuis peu à réaliser des levés d'intérieur avec la technique des scanners lasers mobiles. C'est le même principe que le scanner 3D fixe mais celui-ci permet à l'utilisateur de se déplacer au fur et à mesure des prises de mesure avec le scanner dans un chariot appelé « trolley » ou à la main ou même dans un sac à dos appelé

« Backpack ». La revue fait une comparaison entre ces trois modes d'utilisation pour déterminer quel mode utiliser selon la prestation à réaliser.

Le scanner laser mobile par « Backpack » est adapté pour les levés d'intérieur où l'on trouve de grands espaces ouverts comme des hangars ou des bâtiments industriels. Un géomètre expert partage son expérience sur ce procédé. Il témoigne que l'utilisation d'un scanner laser mobile dans un sac à dos est l'avenir pour lever ce type d'ouvrage. Il a pu le mettre en pratique pour lever un bâtiment d'Air France sur l'aéroport de Roissy (Paris) d'une superficie de 9 280 m². Le levé a été effectué avec le Leica Pegasus, il est doté de caméras permettant de prendre des photos pour coloriser le nuage de points, l'appareil a une acquisition de 700 000 points par seconde et l'utilisateur peut se déplacer à 20km/h maximum. Grâce à ça il a pu estimer une acquisition de 5 à 6 kilomètres de levé journalier en se déplaçant à pied. L'un des inconvénients est la précision, dans le cas d'un levé d'intérieur elle est de quelques centimètres. Il faut donc l'utiliser pour des plans d'intérieur avec une échelle au 1/100 maximum et non pour des plans d'architecte souvent demandés avec une échelle au 1/50. Un autre inconvénient est le poids : 15 kilogrammes à supporter pour l'utilisateur prenant en compte le sac, le scanner et les batteries. Ensuite, il faut prendre en compte son coût d'investissement de plus de 150 000€ si l'on compte l'appareil de mesure, le logiciel de traitement et l'ordinateur adéquat pour faire le post-traitement. A noter, un autre point sensible pour l'utilisation du scanner laser mobile « Backpack » est le protocole lors de la prise de mesure qui oblige l'opérateur à se déplacer toujours vers l'avant, sans avoir la possibilité de revenir en arrière, il ne peut pas non plus se déplacer en « crabe » et il doit finir son trajet par une boucle fermée. Le dernier inconvénient est le temps passé lors du post-traitement, celui-ci est assez conséquent puisque l'étape de calcul est assez complexe. Cependant, elle offre la possibilité d'assister le logiciel et d'avoir un contrôle sur la quasi-totalité des calculs.

En outre, le scanner laser mobile par « Trolley » est lui aussi adapté pour les levés d'intérieur de type galerie marchande, hangar industriel ou d'autres grands espaces de stockage car il faut de la place pour pouvoir se déplacer avec le chariot ; celui-ci reste imposant et c'est son principal défaut. Le chariot a comme avantage de ne pas avoir à porter le scanner pendant les mesures et de pouvoir se déplacer assez rapidement mais son envergure est un réel frein quant aux types d'ouvrages qu'un professionnel peut être amené à lever.

Pour finir la revue recueille un avis sur le scanner laser mobile tenu à la main qui est utilisé par un géomètre expert basé dans le département des Hauts-de-Seine. Le scanner en question est un Zeb-Révo de Géoslam, son utilisation est exclusivement pour les levés d'intérieur. Le géomètre confie dans l'article que l'appareil de mesure n'est pas adapté pour tout type de levé d'intérieur, il faut prendre en considération la précision attendue de la mission et le type de bâtiment. Après quelques essais et retours d'expériences le géomètre évalue la précision de un à deux centimètres par rapport à celui d'un scanner fixe et un peu plus de deux centimètres lorsqu'il y a de plus grandes distances.

L'un des points forts de cet outil est la rapidité d'acquisition, à titre d'exemple le géomètre a réalisé un levé d'appartement de 200m² en 15 minutes et un autre levé de son cabinet en trois heures de temps contre une journée par le biais d'un scanner fixe. Ce scanner dynamique a une portée de 25 mètres c'est pourquoi il est adapté pour les levés d'intérieur comme les copropriétés. Un autre point abordé par l'interview est le coût d'investissement qui pour le Zeb-Révo est de 50 000€, cet investissement d'après M. Nivelet n'est pas excessivement cher quand il compare la rentabilité de ces dossiers. Il précise tout de même que l'expérience joue beaucoup sur la rentabilité avec cette méthode car le technicien doit savoir comment se déplacer selon la configuration d'une pièce. La prise de mesure peut être plus dangereuse qu'avec un levé au scanner laser fixe du fait du déplacement.

I.2.3 Conclusion sur les scanners laser mobiles

La revue professionnelle Géomètre avec son article sur les scanners laser dynamiques vient compléter la liste des technologies dont le géomètre expert dispose pour effectuer des levés d'intérieurs. Le point fort de ce scanner est la mobilité permettant de prendre des milliers de points sans avoir besoin d'attendre que le scanner finisse sa rotation pour lancer une prochaine session comme avec un scanner 3D fixe. Cette mobilité permet un gain de temps dans l'acquisition de données par rapport à un scanner fixe. Le scanner tenu à la main va être le mode d'acquisition se rapprochant le plus de notre étude, du fait qu'il soit tenu à la main et de par sa liberté de déplacement.

Pour conclure, le scanner tenu à la main, semble être une technique performante pour effectuer des levés d'intérieurs et même plus performante qu'un scanner fixe car elle combine rapidité et précision. Cette étude souligne l'efficacité d'une acquisition faite en mouvement. Celle-ci pourrait être adaptée à notre cas d'étude par le biais de la prise de vidéo avec un smartphone. La photogrammétrie combinée à la prise de mesure par photo ou vidéo

pourrait apporter une solution intermédiaire entre le coût d'investissement, la rentabilité de l'opération et la précision des résultats par rapport à la scannérisation 3D qui demande des ressources financières importantes. Il s'avère qu'une étude a mis en œuvre cette possibilité d'associer la photogrammétrie et la prise de mesure par vidéo et photo via un smartphone pour des travaux de récolement.

I.3 Utilisation d'un smartphone pour des missions de récolement par SEELEN A.

I.3.1 Thématique du sujet étudié

Le présent rapport s'intitulant « La photogrammétrie par smartphone au service du récolement de réseau en fouille ouverte » (A. Seelen, 2018) a permis une approche entre la photogrammétrie et l'utilisation d'un smartphone. En effet le smartphone peut effectuer des photographies ou des vidéographies, alors il est possible théoriquement d'utiliser ses fonctionnalités au service de prise de mesure topographique en passant par la photogrammétrie. Le TFE a mis en pratique ces hypothèses.

I.3.2 Méthodologie entreprise par l'étudiante

L'étudiante a identifié deux applications existantes permettant la prise de mesure via une application téléphone, les applications en question sont : Reso3D développée par GéoRéso en 2017 et Tredzone développée par TT Géomètres Experts en 2017.

La première application utilise principalement la prise de vidéo par smartphone dans le but de dresser les plans de récolement, simplement en filmant la tranchée ouverte et ses différents réseaux.

La deuxième application contrairement à la précédente utilise uniquement des photographies comme mode d'acquisition mais toujours dans le même but. Suite à ces observations, le résultat attendu du TFE, est de trouver une solution usant des mêmes modes d'acquisition en l'occurrence prise de photo ou vidéo par smartphone, mais en diminuant le nombre de cibles requis pour traiter les données nécessaires pour la phase de géoréférencement. Ensuite l'étude portera sur les compromis à entreprendre entre la prise de photo ou de vidéo. Différents tests ont été mis en œuvre afin de déterminer le mode de travail le plus performant. Il y a notamment des comparaisons sur la précision des résultats acquis par vidéo ou par photo avec différentes longueurs de tranchée et des sols de natures diversifiés, mais aussi des comparaisons avec une intensité de lumière naturelle variable et sur des profondeurs de réseaux différents.

I.3.3 Résultats obtenus

L'une des premières observations mise en valeur par A. Seelen est qu'il existe sept logiciels pour traiter ce type de données. Son étude est portée sur le logiciel Pix4D et Agisoft Métashape anciennement Photoscan. Un point essentiel est que Agisoft Metashape ne traite pas les vidéos il faut donc passer par un logiciel intermédiaire pour convertir les vidéos en images ; le logiciel utilisé par l'étudiante est « free Video to Jpg converter ». A contrario, le logiciel Pix4D peut lui en revanche traiter des vidéos ou des photos.

En outre, il ressort de cette étude que l'acquisition de données par vidéo permet d'avoir de grandes zones de recouvrement³ car le smartphone enregistre plusieurs images par seconde. L'inconvénient est qu'il y a beaucoup de clichés à traiter par le logiciel et certains clichés sont dégradés du fait que l'utilisateur ne garde pas la même distance entre l'objet et le sommet de prise de vue entraînant une mauvaise visualisation des cibles et par conséquent un mauvais pointage de son centre. De plus, des clichés vont être flous et non exploitables. La prise de mesure par vidéos conserve toutefois de bons résultats planimétriques puisqu'il a été noté que deux tiers des points mesurés sur une tranchée de cinq mètres avaient une précision de zéro à deux centimètres. D'un point de vue altimétrique l'étude démontre que soixante-dix-huit pour cent des points mesurés ont quatre à dix centimètres d'écarts. Ces écarts sont acceptables puisque pour le récolement de réseaux il peut y avoir une incohérence de 10 cm sur les mesures⁴.

Tandis que pour l'acquisition de données via un smartphone à l'aide de photos, le TFE a mis en évidence que son traitement est beaucoup plus rapide avec un gain de temps de quelques heures. Elle permet aussi de garder au mieux la même distance entre l'objet et le sommet de prise de vues. De plus, elle laisse la possibilité à l'utilisateur d'éliminer les zones trop éclairées ou pas assez pour avoir une qualité de cliché la plus optimale. Concernant la précision, les tests ont défini un écart planimétrique en moyenne d'un demi-centimètre et en altimétrie un écart moyen de quatre centimètres. Pour finir, l'inclinaison du

³ Le recouvrement : Zone commune entre deux clichés pris de deux points de vue différents.

⁴ Calculé selon l'arrêté du 16 septembre 2003 portant sur les classes de précision applicables aux catégories de travaux topographiques réalisés par l'Etat, les collectivités locales et leurs établissements publics ou exécutés pour leur compte.

smartphone est un facteur essentiel car lors des essais de levés avec prise de photos, il a été souligné qu'une inclinaison constante aide pour l'auto calibration⁵ du smartphone.

I.3.4 Conclusion sur les différents tests d'acquisition des données via un smartphone

Ce TFE conclut que pour faire des plans de récolement le smartphone peut être un outil de mesure et remplir les objectifs attendus pour ce type de mission, en l'occurrence atteindre une précision de classe A définie par l'arrêté du 16 septembre 2003. Le mode vidéo qu'offre un smartphone a comme avantage un recouvrement optimal. Ce recouvrement permet un meilleur traitement des données lors de l'alignement puisqu'il y aura plus de points homologues. Néanmoins, la vidéo nécessite deux fois plus de temps de calcul, causé par la quantité importante d'images. L'autre point négatif est qu'il y a beaucoup de données non exploitables, du fait d'une mauvaise qualité du cliché et des variations de distance entre l'objet et le sommet de prise de vue. Il est donc préférable d'utiliser la prise de cliché, pour optimiser le traitement de données et la qualité du résultat final.

Suite à ce travail de fin d'études, nous avons vu une démarche qui permet l'utilisation d'un smartphone pour des mesures topographiques avec un niveau de précision et d'attente propre au récolement de réseaux. De plus, le smartphone coûte moins cher qu'un scanner 3D et la photogrammétrie requiert peu de ressource. Cela confirme l'idée que la combinaison photogrammétrie et smartphone serait potentiellement l'outil adéquat pour les géomètres ayant peu de ressources financières et voulant réaliser des mesures 3D. Il reste à étudier, si le smartphone pourra de nouveau être un outil de mesure, pour répondre aux attentes des levés d'intérieur nécessitant une précision plus pointue que lors d'une mission de récolement. Si c'est le cas, cette méthode de travail pourrait être la solution à envisager pour les géomètres concernés par le problème d'investissement d'un scanner 3D, mais qui souhaitent être plus performants qu'avec un levé traditionnel.

⁵ Auto calibration : Détermination des paramètres internes des caméras à partir de points homologues issus de plusieurs images.

I.4 La photogrammétrie au service du projet Mossoul par LEBLAN C, COUDERETTE F, MAGNETTI A et MESAL L

I.4.1 Thématique du sujet étudié

L'étude « Modélisation 3D : Du participatif au relevé de précision » (C. Leblan, F. Couderette, A. Magnetti, L. Mesal, 2018) a permis de comparer différents types d'acquisition photographiques pour réaliser la modélisation 3D d'un objet. Le sujet s'est construit dans le contexte du « projet Mossoul » où trois étudiants chercheurs au sein du réseau de formation pour le patrimoine culturel numérique, ont décidé de récolter des photos, prises par des touristes, d'œuvres d'art exposées au musée de Mossoul en Irak qui a été détruit par l'organisation « État islamique » et ainsi de permettre la reconstitution 3D des œuvres. Les élèves de l'ENSG se sont penchés sur le fait que beaucoup de touristes prennent des photos avec différents appareils comme l'appareil photo réflex, l'appareil photo compact et l'appareil photo d'un smartphone. Ils se sont demandé quel serait le protocole de prise de vues à adopter par les utilisateurs de ses appareils pour permettre une modélisation 3D optimum d'un objet via la photogrammétrie. Pour répondre à cette question les élèves ont mis en pratique une étude de comparaison entre ces trois techniques d'acquisition de photo, les gestes et les positions techniques à mettre en œuvre lors d'une modélisation 3D par photogrammétrie.

I.4.2 Méthodologie entreprise par les étudiants

L'étude s'est basée sur la statue « La Dame de Candelle » présente dans la ville de Forcalquier appartenant à la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. La modélisation 3D de cette statue s'est réalisée dans un premier temps avec un scanner 3D. Cette modélisation sera par la suite de l'étude la modélisation de référence c'est-à-dire que c'est le modèle en trois dimensions qu'ils ont comparé aux modélisations trois dimensions acquises avec un appareil photo réflex, un appareil photo compact et un appareil photo d'un smartphone.

Plusieurs thématiques ont été abordées pour comparer les résultats. Les thématiques sont les suivantes :

- Comparaison des nuages de points afin de calculer les écarts de distance entre deux points par l'intermédiaire du logiciel « Cloud Compare » qui est un logiciel permettant de comparer des nuages de points 3D.
- Comparaison d'acquisition des données par photo ou par vidéo.

- Détermination d'un nombre de photos minimum pour une modélisation 3D de bonne qualité : des tests ont été faits sur l'importance des angles entre deux prises de vues à adopter. Les angles de comparaison étaient de 2° à 36° afin d'évaluer la densité et la précision de la reconstruction du nuage acquis par photogrammétrie par rapport au nuage de points référent.
- Comparaison sur l'impact de la résolution de l'appareil photo : deux appareils photo avec des résolutions différentes ont été examinés.

I.4.3 Résultat de l'étude comparative

La première comparaison faite par le biais du logiciel Cloud Compare a révélé des résultats surprenant concernant l'écart moyen des distances entre le nuage de points obtenu avec les photos par smartphone et le nuage de points obtenu par scanner 3D, quatre-vingts clichés ont été fait avec une moyenne d'écart égale à 1.6 millimètres.

Ensuite, l'étude s'est portée sur les différentes manières d'acquérir des données à savoir par photo ou par vidéo sur les trois appareils faisant l'objet de l'étude. La comparaison constate que l'acquisition des données par vidéo permet un recouvrement supérieur et plus rapide que celles obtenues par photos. En revanche, l'analyse du nuage de points par la courbe de Gauss indique que le nuage de points via la vidéo comporte dix fois moins de points. De plus, elle est beaucoup moins précise qu'avec la photo si on les compare à un nuage de points lasergrammétrique avec des écarts en moyenne de 2.6 millimètres. Ces imprécisions viendraient du fait des variations de distance entre l'objet et le sommet de prise de vues et des images pas toujours nettes, donc non exploitables par le logiciel.

En outre un des résultats qui ressort de cette étude est qu'il est impossible de déterminer un nombre minimum de photos requis pour favoriser la modélisation 3D d'un objet, mais que certains facteurs influent sur la qualité des données. Par conséquent, certains paramètres sont de meilleurs augures pour optimiser la réalisation du modèle 3D. Le facteur principal est l'angle entre deux clichés qui doit être de 10° maximum, puisqu'avec un angle compris entre 2° et 13° , il y a entre 650 000 et 625 000 points de construits et quand nous avons des angles compris entre 20° et 36° , il y a entre 600 000 et 375 000 points de reconstruits. Une autre étude a permis de confirmer cet angle de 10° entre chaque prise de vues, il s'agit de la précision des reconstructions. En d'autres termes, ils ont comparé les erreurs de distance entre un point de détail du nuage de points référent et le même point de détail sur le nuage de points par photogrammétrie. En effet, ce point doit être théoriquement

à la même place, c'est pour cela que l'écart entre les deux points donne la précision de reconstruction. A nouveau, un tableau d'analyse a permis de souligner qu'avec un angle de 10 degrés, il y a un écart moyen d'un millimètre avec celui obtenu par le scanner 3D.

Le dernier point soulevé par les étudiants, est l'importance de la résolution. Cette donnée est souvent exprimée en pixels et elle détermine le nombre de pixels contenu dans une image photographiée. Plus la résolution de l'appareil est élevée, plus on aura de détails capturés sur le cliché et plus il y aura une quantité de points élevée lors de la construction du nuage dense. Pour justifier cela, les élèves ont utilisé des appareils photo de 1000 et de 2500 pixels. A l'aide du logiciel « MicMac » un logiciel de photogrammétrie créé par Marc Pierrot Deseilligny, les résultats obtenus sont de meilleure qualité avec les images prises par l'appareil photo de 2500 pixels car il y a plus de points de liaison⁶.

I.4.4 Conclusion sur les méthodologies à adopter pour la photogrammétrie

Ce projet à la base destiné aux non professionnels de la photogrammétrie, nous permet d'avoir des indications sur la manière de prendre des photos de bonne qualité pour ensuite, les transformer en une modélisation 3D. De plus, l'étude aborde des comparaisons entre les appareils photo classiques et ceux des smartphones, même si ce n'était pas l'élément central de l'étude, qui était davantage sur les appareils photo réflex et compact. Nous avons appris de nouveau que le smartphone peut être un outil de mesure puisque les photos acquises par celui-ci, ont donné de bons résultats en matière de précision de distance en comparaison avec un scanner 3D. En revanche, l'étude s'est basée sur une statue d'une dizaine de centimètres, il faut donc être prudent quant à la précision qu'on pourrait rencontrer lors d'un lever d'intérieur avec des distances plus importantes. Ensuite la prise de vidéo a une nouvelle fois été écartée si l'on souhaite un travail assez précis puisque, comme constaté dans le rapport d'Amandine Seelen, la vidéo n'optimise pas la qualité des clichés du fait d'images floutées coïncidant avec le changement de distance entre l'objet et l'appareil photo. Le dernier point à retenir est qu'il existe des facteurs améliorant la qualité des clichés comme la résolution des images ou l'angle de prise de vues entre deux clichés différents. L'étude

⁶ Point de liaison : Point vu sur plusieurs images et non connu en coordonnées. Ces points servent à orienter les images entre-elles.

préconise un angle de dix degrés dans le but d'avoir un nuage de points dense et par conséquent avoir plus de matière à traiter.

Concernant notre étude, nous avons quelques indications à suivre comme respecter un angle de dix degrés entre chaque photo et utiliser un appareil photo avec une grande résolution. Ensuite intervient la notion de précision de reconstruction, cette précision peut être une solution pour connaître celle que l'on va obtenir avec un nuage de points acquis avec un smartphone. De plus, le nuage de points acquis avec des appareils photo a été comparé avec un nuage de points obtenu avec un scanner 3D. La comparaison réalisée par les étudiants est intéressante puisque que le scanner 3D est la référence en termes de nuage de points 3D, comme vu avec l'étude de S. Fernandez-Cuiret. Le logiciel Cloud Compare a été utilisé pour effectuer cette comparaison de nuage. Pour finir, les caractéristiques techniques de l'appareil photo du smartphone ont un rôle décisif sur la qualité des clichés et le produit final créé. Pour définir ces caractéristiques, il est préférable d'établir un cahier des charges au préalable, pour fixer les objectifs et les résultats attendus de cette nouvelle méthode de travail. Un guide réalisé par la plateforme Culture 3D Cloud s'avère intéressant pour la construction de notre cahier des charges car il donne des conseils sur les caractéristiques qu'un appareil photo doit avoir pour optimiser la modélisation 3D.

I.5 Guide pour la prise de vue photographique

I.5.1 Thématique du sujet étudié

Culture 3D Cloud est une plateforme informatique pour la numérisation 3D, qui a publié un « Guide pour la prise de vue photographique à destination de la plateforme C3DC » (Culture 3D Cloud, 2016). Les auteurs s'appuient sur leurs expériences pour donner des conseils quant aux meilleures conditions pour prendre des photos, qui permettront d'avoir un nuage de points 3D de bonne qualité. Le guide aborde dans un premier temps les caractéristiques d'un appareil photo qui influencent une bonne ou une mauvaise qualité d'image. Ensuite, il donne des recommandations pour faciliter le travail de l'utilisateur et pour obtenir un nuage de points 3D de qualité.

I.5.2 Résultat du guide pratique

Le premier point à retenir dans ce guide, est que certains éléments influencent la qualité des clichés pris par un appareil photo réflex ou compact. Ces appareils sont constitués de plusieurs composants qui vont impacter directement la qualité d'une image, le guide cite le capteur et l'objectif.

La taille du capteur est très importante car elle définit la capacité à avoir des photosites plus ou moins grands. Cela a un impact direct sur la qualité globale du cliché car, plus la taille du photosite est grande et mieux il pourra capter de la lumière pour rendre le cliché plus net. Ensuite vient l'objectif, il permet de changer la focale⁷. Celle-ci détermine le champ de vision capturé par l'image et le grossissement de l'objet photographié. Il est déconseillé d'utiliser un objectif « fish-eye » car il crée de grosses déformations par rapport à la réalité, de même pour les longues focales qui ne permettent pas un grand champ de vision, réduisant le nombre potentiel de points homologues. Le conseil donné par C3DC, pour l'utilisation d'un appareil photo réflex ou compact, est l'utilisation d'une seule focale pour une série de clichés et de choisir une focale entre 24 et 60 millimètres.

Le deuxième point abordé est le réglage de l'appareil photo qui conduit aussi à de bonnes conditions d'acquisition des données. Le premier réglage évoqué par le guide est la sensibilité ISO définissant la capacité à être sensible à la lumière pour l'appareil photo. Elle joue un rôle dans la corrélation⁸ des images en compensant le manque de lumière ; il est conseillé d'utiliser le plus faible ISO afin de limiter le bruit⁹. Le deuxième réglage est l'ouverture qui définit aussi le flux de lumière entrant, elle a une incidence sur la profondeur de champ¹⁰. Elle joue aussi un rôle sur la corrélation des images. Il est déconseillé d'utiliser une grande ouverture, car cela réduit la profondeur de champs, mais à l'inverse une trop petite ouverture crée une diffraction de la lumière qui nuit à la qualité de la photo.

Troisième point, l'usage d'un trépied est recommandé pour avoir des images nettes puisqu'il permet à un smartphone d'être stable. Pour finir, le guide liste des méthodes de prise de vue pour optimiser le travail, ces méthodes concernent le recouvrement. Il est conseillé d'avoir un recouvrement de 75 % entre chaque cliché pour avoir assez de points homologues lors du traitement des données. La seconde recommandation est d'avoir un angle entre 10° et 20° entre chaque prise de vue pour avoir le maximum de zone recouverte

⁷ Focale : Définit la distance entre le foyer image et le centre optique.

⁸ Corrélation : Action de mettre en correspondance chaque pixel d'une photographie avec ceux d'une autre photographie.

⁹ Bruit : En photogrammétrie, il correspond aux points parasites dégradant la qualité de la reconstitution du nuage de points 3D d'une scène.

¹⁰ Profondeur de champ : Correspondant à la distance entre les éléments les plus proches et les plus éloignés d'une scène qui semble être nette pour l'œil humain. Espace qui sera net pour l'œil humain lors de la prise de vue.

entre les clichés et de favoriser la détection des points homologues lors des calculs. La dernière recommandation est de diversifier les angles de prises de vues pour éviter les zones d'occlusions afin d'obtenir un nuage de points 3D de l'objet étudié incomplet.

I.5.3 Conclusion des informations apportées par le guide

Culture 3D Cloud a publié un guide qui confirme des constats ou des recommandations que l'on retrouve dans les différents rapports exposés précédemment, en l'occurrence sur les différents pourcentages de recouvrement et les angles de prise de vues nécessaires pour s'assurer d'une bonne corrélation, à savoir un recouvrement de 75 % et un angle de 10° entre chaque prise de vues.

De plus, le guide nous apporte des éléments essentiels pour la réalisation d'un cahier des charges. En effet il aborde les facteurs techniques qu'un utilisateur doit comparer et regarder avant de choisir un appareil photo réflex ou classique quand il veut effectuer des travaux de photogrammétrie. Ces facteurs techniques doivent être applicables à l'appareil photo du smartphone. De plus en plus d'appareils photo de smartphones font intervenir les composants fondamentaux d'un appareil photo numérique de qualité professionnelle. Nous avons à présent les critères techniques essentiels sur lesquels nous devons nous appuyer pour choisir la gamme de smartphones, ainsi que des recommandations sur la façon de prendre les photos pour obtenir les meilleurs clichés possibles et, par conséquent, une modélisation 3D de qualité.

La deuxième partie est consacrée à la réalisation du cahier des charges pour notre étude.

II Élaboration du cahier des charges

L'élaboration d'un cahier des charges est essentielle dans un projet technique, il s'agit du document référent. C'est lui qui va structurer les attentes du projet, les résultats souhaités, le délai ainsi que tous les moyens techniques et les ressources nécessaires. Il est donc le fil conducteur du projet et il encadre l'état d'avancement des travaux de recherches.

La réalisation du cahier des charges s'est effectuée avec Mme Aurélie GROSJEAN géomètre-expert associée et référent maître de stage pour ce TFE, mais aussi en collaboration avec M. Nicolas Berteloot responsable d'affaire foncière/copropriété et division en volume au sein de l'entreprise.

II.1 Contexte de l'étude

De nos jours, les technologies se développent rapidement, offrant une multitude d'appareils innovant pour les utilisateurs, que ce soit dans la vie quotidienne ou professionnelle. Depuis quelques années, le monde de la topographie connaît des innovations technologiques que le géomètre-expert peut utiliser pour réaliser ses différentes missions. C'est le cas notamment dans le domaine de la copropriété, où il peut être amené à réaliser des plans d'intérieur. Pour cela, il dispose de plusieurs techniques.

Le cabinet Axis-Conseils compte sept agences réparties dans la région Centre-Val de Loire. Ces différentes agences n'ont pas les mêmes moyens techniques pour effectuer des levés d'intérieur, certaines utilisent le scanner 3D, mais d'autres utilisent une méthode plus traditionnelle. Cette étude pourrait apporter une nouvelle méthode de travail aux agences non équipées d'un scanner 3D et ainsi améliorer la rentabilité du cabinet sans investissement économique.

II.2 Définition des objectifs et des problèmes de l'étude

II.2.1 Définition des objectifs

L'objectif principal est de pouvoir dresser des plans d'intérieur à l'aide de photos prises par un smartphone. Ensuite, il est question de faire un bilan sur la rentabilité de la technique en prenant en compte le coût de l'investissement, le temps passé pour un technicien à effectuer le travail et la qualité du rendu.

Pour répondre à ces objectifs, il faut que les photos soient de bonnes qualités afin d'avoir des données exploitables pour obtenir des plans avec la précision souhaitée.

II.2.2 Définition des problèmes

Avant de se plonger dans la phase expérimentale du projet, il est essentiel de projeter les difficultés probables que l'on risque de rencontrer, cela permet de les notifier dans le cahier des charges et de planifier d'éventuelles solutions qu'il faudra anticiper pour surmonter ces problèmes. Bien évidemment des problèmes non notifiés feront certainement leur apparition au fil du temps, notamment dans la phase expérimentale. Voici quelques problématiques soulevées :

Un des problèmes est qu'en levé d'intérieur il existe différentes attentes de précisions suivant le type de surface à mesurer. En France, il a été recensé quatre types de surface

encadrés par des textes réglementaires ou législatifs tels que le mentionne Jean-François Dalbin et Gérard Roulleau géomètres experts dans la revue Géomètre « *Surfaces du bâti, Simplifier, harmoniser* » (OGE, 2017) avec :

- La surface privative dite loi Carrez définie par la loi n°96-1107 du 18 décembre 1996
- La surface habitable définie par l'article R. 111-2 du code de la construction et de l'habitation (CCH)
- La surface de plancher définie par l'article R. 112-2 du code l'urbanisme
- La surface utile définie par l'article R. 331-10 du code de la construction et l'habitation (CCH)

De plus il existe un autre type de surface tel que le cite Sébastien Trouve géomètre-expert basé à Montrouge, sur le site internet¹¹ de sa société. Celle-ci n'a pas un encadrement législatif mais elle est référée dans la charte professionnelle des experts immobiliers :

- La GLA définie dans la charte de l'expertise immobilière

Dans notre cas d'étude, nous nous baserons essentiellement sur les quatre premières surfaces mentionnées, puisque ce sont-elles les plus rencontrées au sein du cabinet Axis-Conseils. Il est important de fixer les précisions souhaitées pour valider le travail de recherche afin d'exploiter la méthode de travail.

La seconde problématique est l'adaptation des prises de photos en fonction de la configuration des pièces. Les espaces mesurés peuvent être de diverses formes selon la présence d'encombres, une luminosité différente, des équipements divers. Pour répondre à cette problématique, nous devons faire des tests en essayant de balayer l'ensemble des configurations qu'un géomètre peut être amené à rencontrer.

La dernière problématique envisagée porte sur la qualité des clichés obtenus par le smartphone. En effet lors de l'étude du TFE réalisé par A. Seelen, l'étudiante a évoqué que suivant la position et l'inclinaison du smartphone, les clichés peuvent être de mauvaise qualité et par conséquent non exploitables. Les qualités techniques du smartphone et sa

¹¹ Source : <https://www.geometres-experts.com/les-surfaces/>

position lors de la prise de vues vont être déterminantes pour obtenir des résultats à la hauteur des objectifs fixés.

Des contraintes techniques vont être appliquées dans le but de structurer les attentes du projet et elles peuvent amorcer quelques difficultés à mettre en place la méthode d'acquisition de données.

II.3 Définition des contraintes techniques

II.3.1 Précision du levé suivant les surfaces à mesurer

Il est important de rappeler qu'en photogrammétrie la précision géométrique contient une subtilité. Comme l'évoque la commission technique de la mesure mise en place au sein de l'OGE dans son guide technique « *Quelle technologie ? pour quels usages ? et quelle précision ?* » (OGE, 2019), la précision « correspond à la précision du positionnement de chacun des pixels de l'image sur le terrain. ». Dans notre cas d'étude, la précision se référera à la précision absolue et à la précision relative. La précision absolue consiste à évaluer la distance géométrique entre un point dit « théorique » d'un nuage de points 3D mesuré avec un scanner laser et ce même point dit « reconstruit » par triangulation après l'avoir pointé sur plusieurs images avec la photogrammétrie. La précision relative c'est la différence de distance entre deux points dit « reconstruits » dans l'espace par rapport à leur distance dite « théorique ». Cette définition se rapproche de la « précision de reconstruction » utilisée par les élèves travaillant sur la « Modélisation 3D : du participatif au relevé de précision » (C. Leblan, F. Couderette, A. Magnetti, L. Mesal, 2018).

La première contrainte technique est de fixer une valeur à ces deux précisions dans le cadre d'un levé d'intérieur car la précision attendue pour un levé d'intérieur n'est pas régie par un texte de loi, ni même par le « *Recueil des normes ordinales* » (OGE, 2019) décrivant la déontologie que le géomètre expert doit appliquer suivant la mission auquel il est confronté, mais plutôt définie par les coutumes et le bon sens du professionnel. Le tableau ci-contre illustre les précisions retenues pour chaque type de surface. La surface GLA n'a pas été prise en compte car elle est très peu demandée.

Type de surface	Précision absolue et relative attendues	Type de demande
Surface privative dite loi Carrez	2 à 3 cm	Copropriété
Surface habitable	2 à 3 cm	Transaction immobilière
Surface utile	2 à 3 cm	Transaction immobilière
Surface de plancher	2 à 3 cm	Transaction immobilière

Tableau 1 : Classification des précisions suivant le type de surface mesurée

La classification des précisions s'est faite suivant les coutumes du cabinet et le retour d'expérience de M. Nicolas Berteloot responsable d'affaire foncière/copropriété. A noter aussi que les précisions attendues sur un dossier de levé d'intérieur peuvent être différentes d'une mission à une autre selon les recommandations des clients et la finalité du travail.

II.3.2 Critères de base pour le choix de gamme d'un smartphone

L'outil principal du projet est le smartphone, il sera choisi selon les critères relevés dans le « Guide pour la prise de vue photographique à destination de la plateforme C3DC » (Culture 3D Cloud, 2016) et des critères repris dans l'article « Modélisation 3D : Du participatif au relevé de précision » (C. Leblan, F. Couderette, A. Magnetti, L. Mesal, 2018) qui complète les différentes techniques ou options qui influencent la qualité d'un cliché, à savoir :

La taille du capteur : la capacité de la taille des photosites, plus la taille du photosite est grande et meilleure sera la qualité de la photo car elle définit la quantité de lumière à capter.

La résolution : le nombre de pixels contenus dans une image, on détermine la quantité d'information potentiellement utilisable.

L'objectif : permet de changer la focale d'un appareil photo, on détermine le champ de vision capturé en une image.

L'ouverture : l'influence de lumière entrant dans le capteur et elle a une incidence sur la qualité de la profondeur de champ.

Sensibilité ISO : permet de compenser le manque de lumière.

Toutes ces caractéristiques vont être déterminantes dans la qualité d'image et par conséquent, elles vont influencer la qualité de l'assemblage. L'étude amènera à déterminer une gamme de smartphones correspondant aux critères techniques nécessaires pour effectuer les mesures et ainsi obtenir un plan de qualité.

Après avoir défini les contraintes techniques nous devons lister les ressources nécessaires au projet.

II.3.3 Définition des ressources

La photogrammétrie étant une méthode de travail utilisée par le cabinet Axis-Conseils, les ressources dont il dispose actuellement sont assez riches et suffisantes, mis à part le fait d'envisager l'achat d'un smartphone et d'un trépied pour mener le projet. La liste des ressources est abordée ci-dessous par thème :

Ressources acquises		Ressource à s'approprier
Matériels	Logiciel	Matériels
Cible noire et blanche Distance mètre Scanner laser	Agisoft Métashape Cloud Compare	Smartphone Trépied pour smartphone

Tableau 1 : Ressources nécessaires pour le projet Etude sur la réalisation d'un levé d'intérieur par photogrammétrie via un smartphone

La dernière étape du cahier des charges est le délai fixé pour mettre en place la nouvelle méthode d'acquisition de données.

II.3.4 Délai

Le délai a été fixé par l'Ecole supérieure des géomètres topographes : début du projet le 1^{er} février 2021 jusqu'au 18 juin 2021.

L'annexe 1¹² est un tableau récapitulatif du cahier des charges concernant le projet : « Étude sur la réalisation d'un levé d'intérieur par photogrammétrie via un smartphone ».

III Expérimentations et phases de tests réalisées

La troisième partie va être consacrée à la réalisation de divers tests pour comprendre les problématiques et mettre en place la nouvelle méthode de travail.

III.1 Constitution d'une base de données référente

La première étape a été de définir un objet d'étude et par conséquent la base de données référente qui nous servira pour comparer les résultats obtenus avec la modélisation 3D via un smartphone. Pour ce faire une partie des locaux d'Axis Conseils a été levée avec un scanner laser 3D Leica BLK 360 ; ce levé sera considéré comme le levé de référence qui

¹² Annexe 1 : Tableau récapitulatif du cahier des charges

nous servira de support de comparaison pour confronter la précision des nuages de points et des plans 2D dressés par les mesures acquises via un smartphone.

Le plan de comparaison comprend des pièces présentant différentes configurations pour analyser comment l'utilisateur va devoir gérer ses photos en fonction de l'environnement des pièces. De plus, la présence de hauteurs sous plafond variées, avec une mise en situation de hauteurs inférieures à 1m80 permet de se placer dans la situation d'un calcul de surface privative dite loi Carrez.

III.2 Test n°1 : étude sur la réalisation d'un premier nuage de points 3D par photogrammétrie via un smartphone

La deuxième étape expérimentale est de s'assurer qu'il est possible de réaliser un nuage de points 3D via des photos prises par un smartphone. Pour ce faire, la salle de réunion du bâtiment d'Axis Conseil située au 1^{er} étage, faisant partie de la base de données référente, a servi pour la réalisation des tests.

Lors de ce test, nous allons mettre en pratique les recommandations faites par les précédents rapports pour favoriser la construction du nuage de points 3D. Dans cette phase nous allons utiliser le smartphone P30 Lite du constructeur Huawei, sans nous occuper des options de configuration de l'appareil photo du smartphone, que l'on pourrait définir librement, comme par exemple, l'ouverture de l'appareil photo ou la sensibilité ISO. Par conséquent, nous allons utiliser les paramètres automatiques du smartphone lors d'une prise de photo. Nous allons d'abord regarder comment prendre les photos, en suivant les recommandations ressorties lors des études antérieures sur la photogrammétrie et plus particulièrement concernant la prise de photos par smartphone. A noter que dans le « Guide pour la prise de vue photographique à destination de la plateforme C3DC » (Culture 3D Cloud, 2016) et dans le rapport « Modélisation 3D : Du participatif au relevé de précision » (C. Leblan, F. Couderette, A. Magnetti, L. Mesal, 2018), il ressort que l'angle entre deux prises de vue ne doit pas différer de 10° entre chaque prise de vues pour avoir un recouvrement de 75%. De plus, il est de coutume en photogrammétrie d'effectuer un nombre important de photos pour éviter les zones d'occlusion et densifier les points de vue de la scène étudiée pour obtenir une bonne corrélation.

III.2.1 Méthodologie de comparaison

La première phase du test met en avant ces recommandations et plus précisément le respect d'un angle de visée de 10° entre chaque cliché. Nous allons comparer deux levés

avec un levé dit « levé théorique » et un autre levé dit « levé photographié ». La particularité de ses deux levés est qu'il y aura un premier « levé théorique » de la salle de réunion avec des visées qui ne diffèrent pas de plus de 10° d'écart entre deux clichés et un second « levé photographié » où l'utilisateur prend ses clichés sans avoir la possibilité d'avoir un repère comme un limbe ou un rapporteur (permettant de savoir si les clichés respectent l'angle recommandé). Le but étant de voir si un opérateur peut prendre ses photos en se basant sur son « ressenti », c'est-à-dire faire confiance en ses déplacements et plus particulièrement à l'angle de visée, pour obtenir assez de points homologues et de recouvrement entre deux clichés. Ce test permettra d'affirmer si la prise de photo peut être dite naturelle, dans quel cas nous n'aurions pas besoin d'ajouter des contraintes à un utilisateur peu expérimenté, comme la fabrication d'un limbe adapté pour smartphone, pour toujours respecter l'angle des 10° . Pour ce faire, il a fallu trouver un procédé donnant la possibilité à l'utilisateur d'avoir un repère angulaire.

La première solution est d'utiliser un trépied sur lequel est fixé un support d'appareil photo réflex. Ce support est équipé de trois limbes qui permettent de connaître le degré d'orientation de l'appareil photo verticalement et horizontalement. Toutefois ce processus fait intervenir un trépied, retirant la notion de mobilité qui est le point fort de la méthode de travail. De plus, l'usage d'un trépied assiste l'utilisateur pour la stabilité du smartphone. Ces conditions d'acquisition ne retranscrivent pas le mode opérateur qui sera mis en œuvre pour mesurer des pièces avec un smartphone puisqu'on cherche à garder la liberté de déplacement qu'offre cet outil. Pour remédier à cela il a fallu penser autrement.

L'avantage de travailler avec un smartphone est que l'on peut utiliser des applications pour nous aider dans nos différentes recherches. En l'occurrence, pour cette première

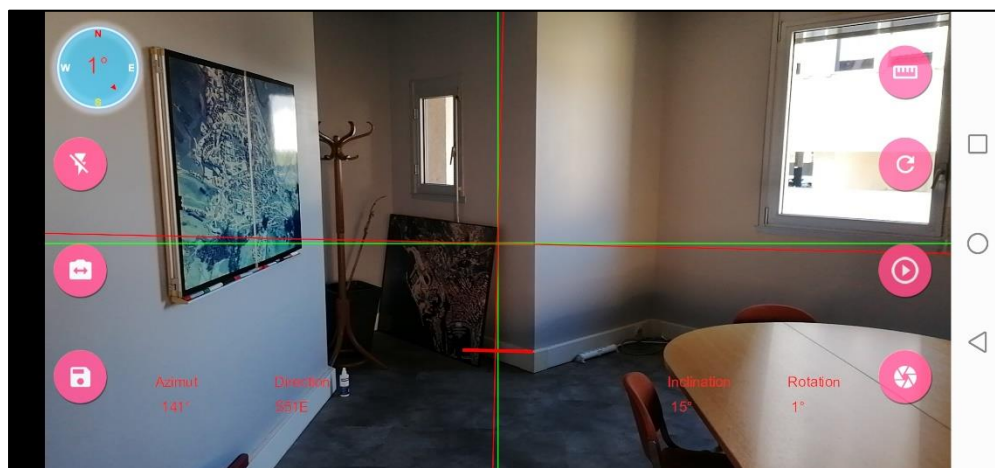


Figure 1 : Interface du module niveau laser de l'application « Angle Meter »

comparaison, l'application « Angle Meter¹³ » gratuite et téléchargeable sur Play Store¹⁴ et App Store¹⁵ nous offre la possibilité de répondre à nos besoins. En effet, l'application avec son module « niveau laser » propose une interface avec des indications d'angles verticaux et horizontaux lorsqu'un utilisateur prend une photographie. Elle permet de photographier la scène dans les conditions recommandées par les précédents rapports. Cette application va être employée pour la session de photos de la salle de réunion qualifiée de « levé théorique ».

L'illustration ci-dessus est une capture d'écran faite lors de l'utilisation de l'application « Angle Meter ». L'annotation « Azimut » en bas à gauche de la figure 1 renseigne sur l'angle horizontal lors de la prise de vues et l'annotation « Inclination » située en bas à droite renseigne sur l'angle vertical lors de la prise de vues. Les croix verte et rouge jouent le rôle de niveau et vont assister l'utilisateur pour stabiliser les clichés.

III.2.2 Résultat de la comparaison sur l'angle de visée lors d'une acquisition de photo pour un levé d'intérieur

Premièrement, cette approche confirme la possibilité de construire un nuage de points 3D avec des photos acquises par smartphone. Cependant, ce modèle n'est pas parfait et des configurations vont devoir être mises en place pour améliorer le rendu final. Concernant la prise de photo sans repère angulaire, l'utilisateur va s'aider des éléments qu'il photographie pour essayer instinctivement de respecter le recouvrement de 75%. Par conséquent, on se rend compte après analyse que le respect d'un angle de visée de 10° est plus ou moins respecté juste avec les objets photographiés faisant office de repère.

La figure 2 ci-dessous montre que les photos prises avec le respect des 10° de décalage entre deux clichés et celles prises sans repère angulaire n'apportent pas une meilleure numérisation 3D à un tel niveau qu'il faudrait absolument faire toutes les photos avec l'assistant angulaire. De plus, après analyse des angles obtenus sans repère on s'aperçoit que les angles de visée ont eu comme plus gros écart un angle de 17° mais qu'il n'a pas eu de réels impacts sur le nuage de points (comme le montre la figure 2). Il est donc possible pour un utilisateur d'effectuer ses photos avec un angle légèrement supérieur à 10°. Nous pouvons même aller jusqu'à un angle de 20° comme l'avait constaté le rapport

¹³ Source : <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.stfactory.anglemeter&hl=en&gl=US>

¹⁴ Play Store : Magasin virtuel mettant à disposition des applications pour les smartphones et tablettes Android

¹⁵ App Store : Magasin virtuel mettant à disposition des applications pour les smartphones et tablettes Apple

« Modélisation 3D : Du participatif au relevé de précision » (C. Leblan, F. Couderette, A. Magnetti, L. Mesal, 2018). Ce constat est intéressant dans le sens où l'utilisateur n'est pas contraint de regarder et de suivre l'indicateur d'angle. Il sera plus libre dans la limite où il respecte un angle cohérent entre chaque cliché. Cette liberté ne va pas forcément réduire le nombre de photos mais elle va augmenter le temps d'acquisition des photos.

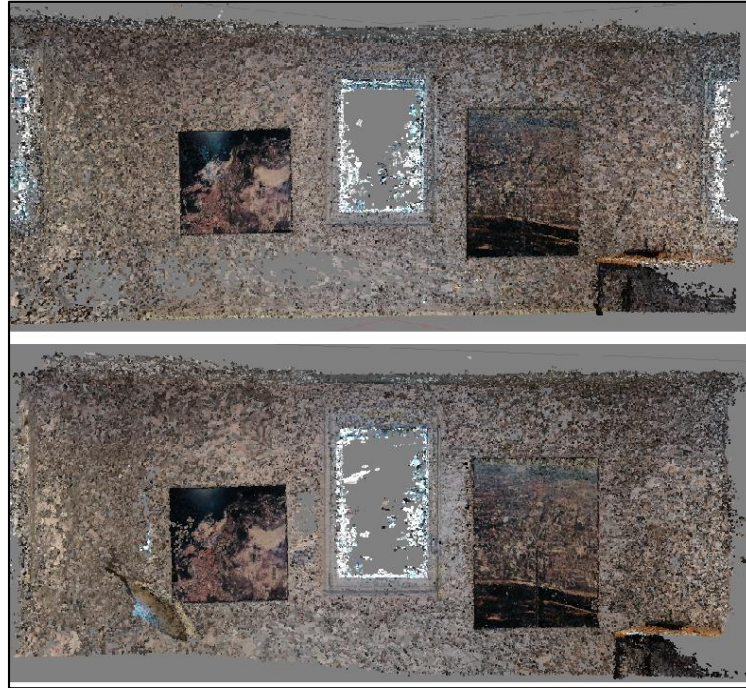


Figure 2 : Comparaison des nuages de points avec différents angles de visée entre une paire de photos. Au-dessus le nuage de points avec assistance angulaire et en dessous le nuage de points sans assistance angulaire.

En complément de la figure 2, l'[annexe 2](#)¹⁶ résume les observations établies lors de ce test n°1 avec notamment la comparaison de temps de traitement sur le logiciel Métashape et la qualité des traitements qui fera l'objet d'une prochaine analyse dans cette partie de tests. Le tableau confirme que le respect d'un angle de 10° n'est pas nécessaire car sur le même objet d'étude, la quantité de points sur le nuage de points dense est quasiment la même entre les différents tests.

A noter qu'il est d'autant plus important de trouver des solutions pour obtenir la meilleure qualité du nuage de points 3D puisque c'est avec lui que le traitement 2D

¹⁶ Annexe 2 : Tableau récapitulatif sur le Test n°1 : calculs des angles de visées

s'effectuera par la suite, d'où l'importance d'avoir un nuage dense de qualité et le plus complet.

III.2.3 Constat d'une première problématique sur le nuage de points

Pour finir, il ressort de manière générale la présence d'une multitude de points parasites appelés « bruit » dégradant le nuage de points 3D, plus particulièrement sur les murs unis. A l'inverse, on observe peu ou quasiment aucun bruit sur les tableaux, le sol ou même l'armoire en bois. Ces observations laissent penser que la peinture unie ou un recouvrement sans détail réduit la quantité de points homologues détectable par le logiciel Métashape. Cette réduction de points homologues impacte la quantité de points de liaisons constituant le nuage de points 3D. La figure 3 ci-dessous expose le fait que les détails remarquables du tableau et les détails visibles sur l'armoire en bois par exemple offrent plus de points homologues. Donc le nuage de points 3D est plus dense dans ces zones.



Figure 3 : Extrait du nuage de points 3D de la salle de réunion A gauche de l'image l'armoire, au centre la porte d'entrée de la salle de réunion de couleur violette et à droite de l'image le tableau

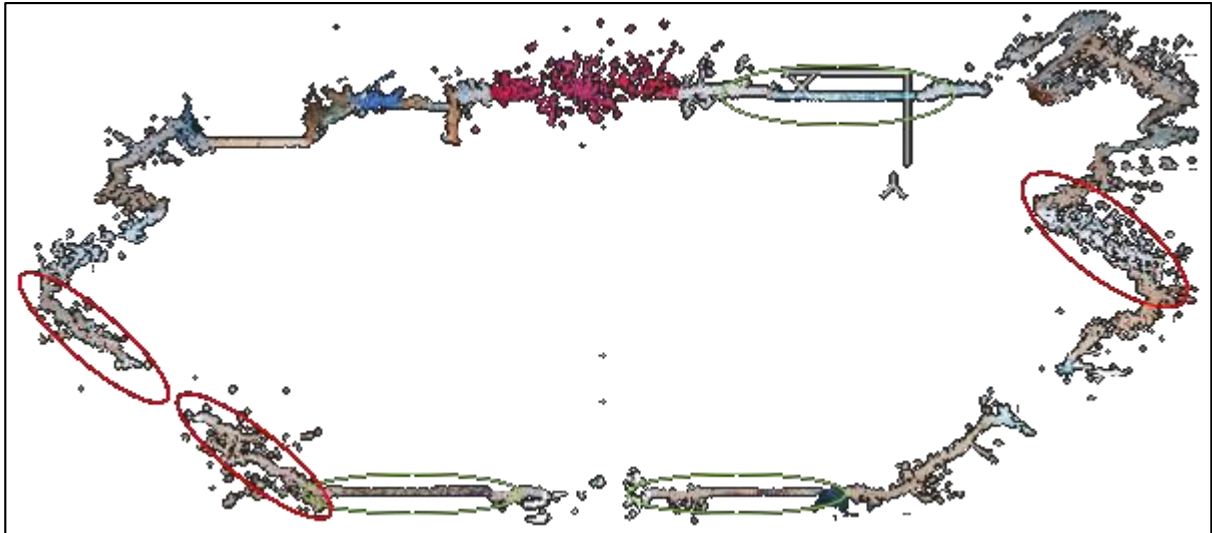


Figure 4 : Comparaison du bruit causé par une surface unie et une surface avec motif sur le logiciel Autocad

On observe notamment que la porte ou le mur présente de nombreuses zones sans point puisqu'ils sont simplement peints d'une couleur unie, sans aucun détail remarquable. Cet aspect va avoir un impact direct lors de la réalisation du plan 2D. En effet, comme le souligne la figure 4, on remarque dans les ellipses rouges beaucoup de bruit, avec une répartition du nuage de points très large sur les murs et, dans les encadrés verts, une diminution du bruit avec une répartition des points plus recentrée et moins dispersée lorsqu'on est sur un tableau.

A travers cette figure, on constate que le bruit généré par une surface unie rend la réalisation du plan 2D plus difficile car, ici, le bruit fait onze cm de large au maximum, il est donc difficile de déterminer avec précision où tracer le mur.

Nous pouvons donc nous demander si la configuration de murs unis dans un bâtiment peut être un premier obstacle à la construction du nuage de points 3D ou s'il peut être atténué voire remédié par le biais des options de configuration de l'appareil photo disponible sur le smartphone ou avec le logiciel de traitement de données Métashape.

Par conséquent, le prochain test mettra en évidence l'influence de la texture ou des points de détails d'une surface.

III.3 Test n°2 : mise en évidence de l'importance d'une surface recouverte par de divers motifs

Les prochaines observations accentuent le fait qu'un mur présentant des motifs va être une condition optimum pour aboutir à un nuage de points 3D de bonne qualité. Pour mettre en avant cette observation, une nouvelle session de clichés est réalisée dans la salle

de réunion de la société Axis-Conseils. De plus, la commune de Chartres située dans l'Eure-et-Loir (28) a missionné le cabinet Axis-Conseils pour déterminer les surfaces habitables de nouveaux logements étudiants qui viennent d'être construits. L'un de ces logements a servi d'exemple pour mettre en avant l'incidence que peut avoir un mur uni sur le nuage de point 3D. Les logements correspondent parfaitement à la mise en situation que l'on cherche à confirmer, à savoir qu'un mur uni photographié par un smartphone est un obstacle lors de la génération du nuage de points.

III.3.1 Levé de la salle de réunion d'Axis Conseils

Tout d'abord, la nouvelle session de clichés réalisée dans la salle de réunion souligne la différence de qualité du nuage de points lorsqu'il s'agit d'un mur avec des motifs. En effet, le vidéoprojecteur présent dans la salle a permis de projeter un motif style mosaïque sur une partie du mur uni, pour créer volontairement des points remarquables. Le résultat de ce test est illustré par la figure 5, le fait d'apporter des points remarquables sur un mur de couleur unie favorise la détection de points homologues et donc la qualité du nuage de points 3D généré par Métashape. Cela impacte directement la base de données pour la réalisation du plan 2D.



Figure 5 : Comparaison des points homologues avec la projection d'un motif sur un mur uni

On observe dans la figure 5 avec motif projeté, le repérage de points homologues par le logiciel au niveau du fond mosaïque. Celui-ci présente aucun défaut de reconstitution et par conséquent une meilleure densité de points sur cette zone. Il faut à présent regarder l'influence donnée par ce nuage de points dense lors du report 2D et voir l'impact de cette projection. La figure 6 ci-dessous confirme que le dressage du plan 2D est plus précis puisqu'on observe des points moins dispersés. On obtient une coupe beaucoup plus fine causée par un faible bruit sur cette zone.

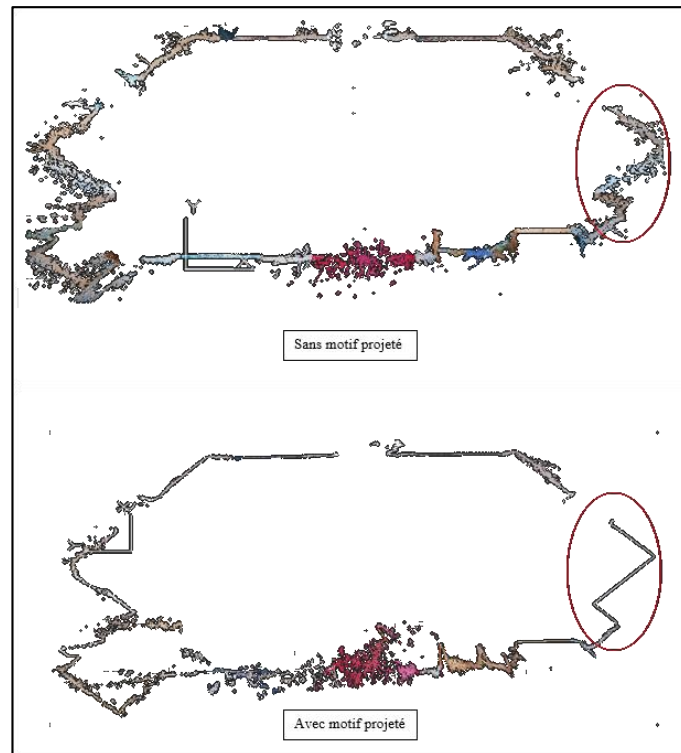


Figure 6 : Comparaison entre le nuage de points sans et avec la projection du motif dans le logiciel Autocad

Pour conclure, ce test note l'impact des murs avec des motifs, ils favorisent la détection de points homologues et ainsi ils augmentent la corrélation lors de l'alignement¹⁷ des photos. La construction du nuage dense peut se faire dans de meilleures conditions, offrant au technicien des conditions optimums pour la production du plan 2D.

Le dernier exemple du logement étudiant levé via des photographies par smartphone va appuyer les difficultés qu'un technicien pourrait rencontrer lors du dressage du plan 2D.

¹⁷ Alignement : Consiste à calculer les orientations relatives entre images adjacentes en s'appuyant sur la détection de points homologues.

III.3.2 Levé d'un logement étudiant

A travers cette mise en situation, nous allons soulever la difficulté à mettre en place la nouvelle méthode de travail dans des logements avec des murs unis et sans aucune marque ou démarcation : un logement étudiant d'environ 20 m² venant d'être construit, ne contenant aucun meuble mis à part une cuisine aménagée et un placard. Les murs sont simplement peints d'une couleur verte, en revanche, le recouvrement des murs de la salle de bain est fait de carrelage style parquet.

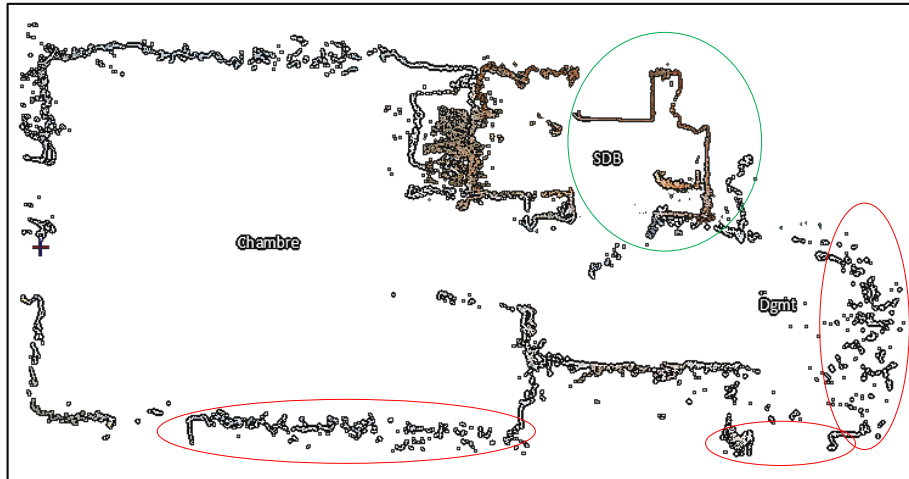


Figure 7 : Coupe horizontale logement étudiant à un mètre du sol - Zone de bruit du nuage de points

La figure 7 montre que la réalisation du plan 2D ne sera pas simple. En effet, la coupe horizontale faite au niveau de la fenêtre illustre la difficulté rencontrée par le technicien pour réaliser son plan 2D. La combinaison du bruit présent dans la chambre ou même dans le dégagement (ellipses rouges) et l'absence de points construits dans certaines zones rend le dressage de plan difficile. A contrario, le nuage de points de la salle de bain est plus net offrant une meilleure qualité (ellipse verte) pour le plan 2D.

Par ailleurs, nous remarquons que la coupe horizontale au niveau des plinthes est mieux représentée avec peu de bruit et un nuage riche en points. La figure 8 montre que les points sont moins clairsemés. La construction du plan 2D va pouvoir être fait à ce niveau-là tout en prenant en compte le décalage de la plinthe.

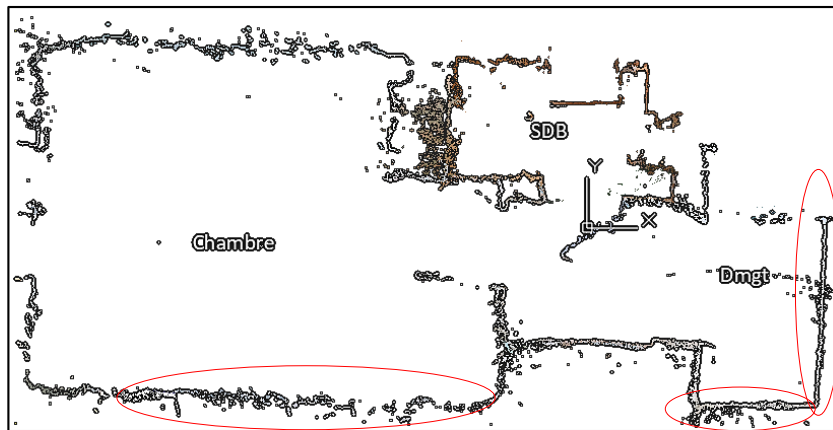


Figure 8 : Coupe horizontale logement étudiant au niveau de la plinthe

Pour conclure, cette première mise en situation nous a permis de comprendre que pour réaliser un levé d'intérieur par photogrammétrie via un smartphone, il va être important de se renseigner sur le type de recouvrement présent sur les murs. Si les murs sont de couleur unie, le nuage de points dense sera de mauvaise qualité et peut-être non exploitable pour la réalisation du plan 2D. Il existe tout de même des alternatives pour remédier à ce problème. L'une des premières solutions est de pouvoir projeter un motif sur les murs unis afin de créer des points de détails pour faciliter la construction de points lors de la création d'un nuage dense avec Métashape. Cette solution est difficilement exploitable puisqu'il faut avoir une source lumineuse pouvant projeter à 180° un motif pour rendre les déplacements de l'opérateur possible sans créer de masque à cette projection. La dernière solution est de basculer entre différents niveaux de coupe, puisqu'il peut y avoir partiellement des zones avec des points exploitables comme nous l'avons remarqué au niveau des plinthes. Du fait qu'elles ne sont pas planes, on aperçoit les trois arêtes de la plinthe ainsi l'effet de relief et de profondeur se démarquent ce qui permet d'améliorer la construction du nuage de points. Ainsi, nous pouvons digitaliser la plinthe et construire le plan 2D. Cependant la plinthe ne va pas toujours être visible dans des logements habités, la présence de meubles peut rendre ce détail inaccessible.

Pour la suite des démarches expérimentales, il est important d'étudier une situation d'une pièce avec beaucoup d'encombrement, pour étudier la faisabilité de photographier ce lieu et d'obtenir un nuage de points exploitable pour son report en 2D. En amont de cette étude, nous allons nous pencher sur le déplacement que doit effectuer l'utilisateur pour prendre ses photos et le nombre de photos à réaliser par position de caméra.

III.4 Test n°3 : étude sur le comportement à adopter par l'utilisateur lors d'une acquisition de photo

Nous savons qu'il est possible de faire des plans d'intérieur via des photos prises par un smartphone. Nous avons déjà conclu que l'utilisateur n'est pas obligé de respecter un angle de 10° entre chaque photo mais qu'il peut se fier à son « ressenti » pour évaluer le changement de position entre deux clichés tout en gardant à l'esprit qu'il ne faut pas excéder 20° entre chaque cliché pour obtenir un alignement total des photos. Ainsi, aucune contrainte de dispositif vérifiant les angles n'est obligatoire. De plus, nous avons soulevé une première difficulté lorsqu'un environnement a des murs de couleur unie. Le technicien va devoir basculer entre les différents niveaux de coupes pour trouver les zones où le nuage de points sera le moins clairsemé, en l'occurrence, au niveau des plinthes le nuage est plus précis.

A présent, pour pallier ce manque d'information sur le nuage de points 3D, nous allons axer nos tests sur la façon de se positionner pour prendre des photos. Il est important de rappeler qu'il existe la photogrammétrie traditionnelle et la photogrammétrie multi-vues. Notre projet fait appel à la photogrammétrie multi-vues, c'est-à-dire que l'on a des axes de visée convergents et parallèles. Le but étant de varier le point de vue d'une scène pour densifier les observations et ainsi favoriser les points homologues d'une image. Ces points homologues constituent la base pour permettre l'alignement des photos et par la suite la détermination des points de liaison constituant le nuage de point 3D. De ce fait, il est important de déterminer un protocole d'acquisition de photos pour prévenir l'utilisateur des étapes à effectuer pour être le plus efficace possible.

Il est de coutume en photogrammétrie de photographier un objet d'étude en calculant la base¹⁸ et le recouvrement. Par principe, ce calcul concerne la photogrammétrie traditionnelle, nous ne sommes pas concernés par le calcul de ces paramètres puisque nous utilisons des visées convergentes et différentes distances par rapport à l'objet. D'autant plus qu'il est difficile, en amont de l'intervention, de prévoir une zone de recouvrement puisque ce principe se base sur la taille (longueur et hauteur) de l'objet d'étude. Dans un levé d'intérieur, nous ne pouvons pas connaître à l'avance les dimensions des pièces car cela serait paradoxal à la finalité de l'intervention. Alors nous partons du principe, qu'il faut avoir

¹⁸ Base : en photogrammétrie traditionnelle c'est la distance entre deux centres de prises de vue pour respecter le recouvrement.

tout de même un recouvrement de 75%, comme vu précédemment, avec le plus de points remarquables capturés en une photo. Pour terminer, nos déplacements devront être stratégiques pour éviter des zones d'occlusions.

III.4.1 Déplacement à adopter pour l'acquisition de photo

Trois tests ont été mis en œuvre dans la salle de réunion, pour déterminer un protocole de déplacement et le nombre de photos à effectuer. Nous savons qu'il existe quelques méthodes à adopter pour l'acquisition de photos extérieures. Il faut voir si ces recommandations peuvent être reprises pour l'acquisition de photos intérieures. Plusieurs tests ont été réalisés afin de trouver la meilleure méthode d'acquisition. Ces tests sont résumés dans l'[annexe 3](#)¹⁹.

Tout d'abord il est difficile de fixer un protocole de déplacement et un nombre minimum de photos lors d'une acquisition de données en photogrammétrie. Toutefois au vu des trois essais, nous avons constaté qu'il n'est pas possible de photographier une pièce dans la configuration intitulée « Test - Prise de cliché avec faible recul » de l'[annexe 3](#). Toutes les photos n'ont pas pu être alignées, par manque de points homologues entre les paires de clichés. Le nuage de points 3D est de mauvaise qualité pour le report du plan 2D. Le deuxième test intitulé « Test - Prise de cliché avec un maximum de recul » dans le tableau de l'[annexe 3](#), met en évidence qu'il n'est pas possible de photographier une pièce en se plaçant aux extrémités de celle-ci, car cette configuration a certes, l'avantage d'augmenter la rapidité d'acquisition, mais aux dépens d'une augmentation des zones d'occlusion, entraînant un nuage de points incomplet et insuffisant pour dresser le plan 2D. Ces deux premiers constats confirment l'intérêt d'avoir assez de recul pour prendre les photos et ainsi augmenter le nombre de points homologues entre une paire de cliché. De plus, il va falloir densifier le nombre de photos pour ne laisser aucune zone d'occlusion.

Toutes ces conditions nous amènent au test intitulé « Test – Comportement à adopter en prise de clichés » de l'[annexe 3](#). Le positionnement de l'appareil photo et les déplacements de l'utilisateur reste subjectif au technicien. Il y a tout de même quelques règles à respecter, ces règles sont décrites dans la colonne « description prise de vues » de l'[annexe 3](#). Le plus

¹⁹ Annexe 3 : Test n°3 : étude sur le comportement à adopter par l'utilisateur lors d'une acquisition de photo

important est d'avoir des photos avec le maximum d'éléments pour favoriser les points homologues et ne pas hésiter à multiplier les passages pour densifier les points de vue. En complément de l'[annexe 3](#), la figure 9 donne l'exemple à suivre pour avoir une bonne corrélation entre les clichés.



Figure 9 : Exemple d'étape de photo à prendre lors d'un levé d'intérieur via un smartphone. La première photo capture le sol et le plus de détails possible à environ 2 m du mur. La deuxième photo est prise sur la même position un peu plus haut, en gardant environ 75% de recouvrement par rapport à la précédente. Pour finir la troisième photo prend le plafond avec encore le recouvrement à respecter et la même position de caméra.

Ce trio de photos est le nécessaire minimum pour optimiser les données acquises par smartphone en limitant le risque de manque d'information et améliorer la qualité d'assemblage. Via cette méthode, on apporte trois points de vue à la scène pour rendre possible l'alignement des photos dans le logiciel de traitement. Il est possible de rester sur cette même position pour continuer à photographier la pièce en question toujours en respectant le recouvrement recommandé. Pour effectuer un déplacement, il suffit d'aller à l'emplacement voulu tout en gardant un recouvrement optimal avec la précédente photo pour garantir le maximum de points homologues. Il est conseillé de respecter une base de 60 cm (un pas). Une fois la première session de photos terminée, c'est-à-dire une fois que l'ensemble de la pièce est totalement photographié, il est recommandé d'effectuer une deuxième session de photos pour compléter les zones non visibles lors du premier passage et obtenir des redondances d'observation. Elle permet aussi d'accentuer les photos sur un élément caractéristique, comme une poutre ou une gaine. Il faut répéter ces recommandations tout au long des sessions de photos. La figure 10 schématise les recommandations décrites précédemment, il est important de rappeler que cette

schématisation est un protocole donnant des conseils à appliquer, mais des ajustements peuvent être nécessaires suivant la configuration de la pièce.

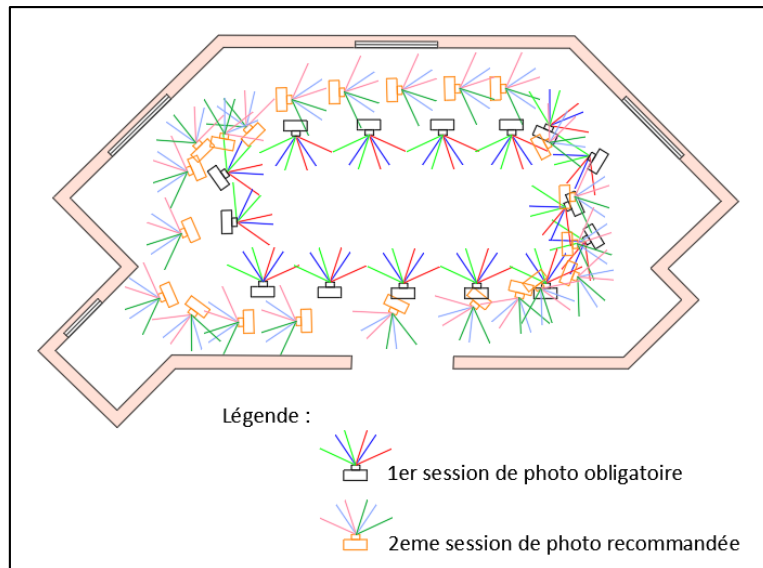


Figure 10 : Schématisation du protocole de déplacement et prise de photos à effectuer lors d'un levé d'intérieur par photogrammétrie.

Notons aussi que pour obtenir ce nuage de points 3D nous avons pris en moyenne 180 photos pour une pièce mesurant 10m².

Désormais nous en savons un peu plus sur le protocole à adopter lors d'une acquisition de photos pour un levé d'intérieur, plus particulièrement sur les déplacements et la manière de prendre les photos pour optimiser leurs alignements. Cependant, un point n'a toujours pas été abordé : l'acquisition de photos dans un milieu encombré.

III.4.2 Déplacement à adopter pour l'acquisition de photo dans un milieu encombré

Il a été notifié l'importance de réaliser un test dans une pièce encombrée, afin d'évaluer les possibilités s'offrant à l'utilisateur pour réaliser un plan 2D dans ce type de milieu. Pour mettre à l'épreuve cette possible difficulté, nous avons réalisé des essais dans la réserve située au premier étage du cabinet. Cette pièce fait partie de la base de données référente.

Il s'agit d'une pièce de 10m² avec des armoires hautes dans la moitié de la pièce comme le montre la figure 11 ci-dessous. La stratégie à adopter pour un environnement encombré est de porter l'attention sur le plafond et les parties visibles du mur. Dans certaines configurations, il est préférable de prendre les cotes directement avec un distancemètre et d'identifier des points de repère sur les photos. Ainsi, cela permettra d'intégrer le croquis de la partie encombrée au plan 2D dressé à l'aide du nuage de points par smartphone.



Figure 11 : Aperçu de l'encombrement disposé dans la pièce

A présent, nous allons nous intéresser aux caractères techniques du smartphone lors d'une prise de photo. Le but est de déterminer une gamme de smartphone qui correspondrait aux attentes fixées afin d'évaluer un coût d'investissement.

III.5 Test n° 4 : Étude sur les caractéristiques techniques de l'appareil photo d'un smartphone

Lors de la rédaction du cahier des charges, via les études « Guide pour la prise de vue photographique à destination de la plateforme C3DC » (Culture 3D Cloud, 2016) et « Modélisation 3D : Du participatif au relevé de précision » (C. Leblan, F. Couderette, A. Magnetti, L. Mesal, 2018) nous avons pu lister les caractéristiques techniques pouvant influencer la qualité d'une photo à savoir : la résolution, la taille du capteur, l'ouverture, l'objectif et la sensibilité ISO. Tous ces paramètres permettent une photo nette, ce qui est un point sensible en photogrammétrie. Une image nette avantage la détection de points homologues lors de l'étape d'alignement des photos et lors de la construction du nuage de points dense. Nous allons étudier leurs influences sur une série de photos et évaluer leurs importances sur le nuage de points 3D.

III.5.1 Influence de la résolution d'un appareil photo de smartphone

La résolution d'un appareil photo est l'élément central qu'un constructeur de smartphone met en avant pour vendre son produit. Rappelons qu'elle définit le nombre de pixels contenus dans une image. En effet, la résolution joue un rôle essentiel lors de l'étape de la construction du nuage dense dans le logiciel Métashape car le logiciel détecte de

nouveaux points homologues pixel par pixel via l'algorithme MVS²⁰ ; d'où l'importance d'avoir une résolution d'appareil photo élevée, puisqu'elle détermine la quantité de données potentiellement utilisables. Lors de l'étude du rapport sur le « Projet Mossoul » les étudiants ont remarqué en comparant deux résolutions d'appareils photos compacts, que celui avec la résolution la plus haute favorise la détection de points homologues et par conséquent, influence le nombre de points de liaisons qui seront ensuite triangulés pour former un nuage de points 3D dense.

Il serait intéressant de mettre en pratique différentes résolutions d'appareils photos de smartphone pour comparer les nuages de points 3D, dans le but de déterminer une gamme de smartphone conseillée pour effectuer un levé d'intérieur.

La comparaison mettra en œuvre un levé acquis avec une résolution de huit mégapixels, de douze mégapixels et de quarante-huit mégapixels.

III.5.1.1 Résultat sur l'utilisation de différentes résolutions d'appareils photos

Tout d'abord les différentes résolutions proviennent du même smartphone, en l'occurrence le Huawei P30 Lite, ce smartphone permet de choisir la résolution que l'on souhaite utiliser. Cette possibilité est un avantage pour notre comparaison car c'est la seule variable que l'on aura et non d'autres éléments comme la marque du capteur photo ou la taille du capteur, qu'on aurait pu avoir avec l'utilisation de trois smartphones différents. Ensuite le tableau consultable en [annexe 4](#)²¹ expose les différents résultats. On remarque à travers ce tableau qu'avec une résolution de quarante-huit mégapixels, il y a plus de points de liaisons créés et, de même, pour la quantité de points formants le nuage dense. Maintenant il serait intéressant de comparer les nuages de points en analysant si la quantité de points augmente la qualité du nuage de points. Pour établir cette comparaison, nous avons fait usage du logiciel Cloud Compare donnant la possibilité de comparer plusieurs nuages de points. Par le biais du logiciel, nous allons comparer les nuages de points 3D obtenus avec les différentes résolutions et le nuage de points de référence acquis avec un scanner laser Leica

²⁰ Algorithme MVS : Algorithme Multi-View Stéréo permet grâce aux orientations relatives déterminées lors de l'alignement des photos d'optimiser et d'assister la recherche de nouveaux couples de points homologues afin de construire un nuage dense.

²¹ Annexe 4 : Tableau récapitulatif sur le Test n°4 : comparaison des nuages de points obtenus avec différentes résolutions

BLK 360. Nous pourrions alors conclure sur la qualité du nuage dense obtenu avec une résolution plus élevée.

III.5.1.2 Conclusion sur la qualité du nuage de points dense avec différentes résolutions d'un smartphone

En regardant les histogrammes de la figure 12, il ressort qu'on obtient plus de points de bonne qualité avec une résolution plus élevée. La figure 12 indique qu'avec une résolution de quarante-huit mégapixels, nous obtenons 33 371 743 points communs au nuage de points théorique dans un rayon de deux centimètres. Le nuage de points avec la résolution de douze mégapixels a lui 7 457 584 points communs au nuage de points théorique dans un rayon de deux centimètres. Le dernier nuage avec la résolution de huit mégapixels a 5 315 850 points communs avec le nuage théorique dans un rayon de deux centimètres.

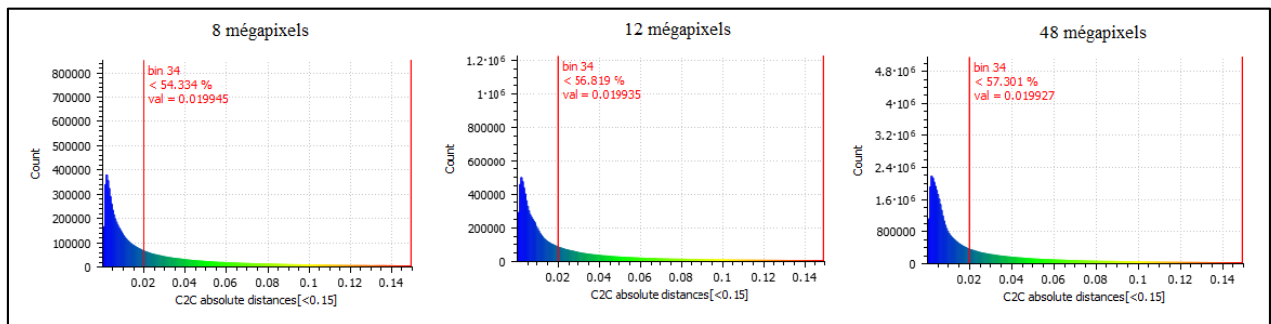


Figure 12 : Graphiques des points en commun entre le nuage de points théorique et le nuage de points smartphone avec différentes résolutions.

Ce test confirme aussi le fait qu'il y ait beaucoup de bruit et par conséquent de points inexploitable avec un nuage de points acquis par des photos prises par un smartphone, puisque sur notre étude nous avons 24 868 646 points placés à plus de deux centimètres du nuage de points théorique avec la résolution de quarante-huit mégapixels.

L'ensemble du test n°4 oriente sur le fait qu'il faut privilégier un smartphone avec une haute résolution, mais nous estimons qu'une résolution de douze mégapixels est un bon compromis entre le temps de calcul et la qualité du nuage de points. Maintenant que nous savons qu'il faut s'orienter sur un smartphone avec minimum douze mégapixels, nous allons analyser le reste des caractéristiques qui augmentent la qualité de la photo notamment sur la capacité à capter de la lumière sur une photo.

III.5.2 Caractéristiques techniques d'un smartphone pour augmenter la quantité de lumière sur une série de photo

L'étude « Guide pour la prise de vue photographique à destination de la plateforme C3DC » (Culture 3D Cloud, 2016) liste les caractéristiques techniques pouvant influencer la quantité de lumière lors d'une acquisition de photo à savoir : la taille du capteur, l'ouverture et la sensibilité ISO. La luminosité d'une photo joue un rôle décisif lors du traitement des photos car elle influence essentiellement la profondeur de champ et la corrélation des images.

De plus en plus de smartphones permettent de régler ces paramètres automatiquement, c'est-à-dire qu'avant de prendre la photo, le smartphone estime ces paramètres pour avoir la meilleure qualité de photo suivant l'exposition à la lumière. Nous avons jugé que le paramétrage automatique de ces caractéristiques est le plus judicieux, car il ne faut pas oublier que cette nouvelle méthode de travail doit avoir une vitesse d'acquisition assez rapide pour être le plus performant lors de la prise de données. Nous ne voulons pas qu'un utilisateur ait nécessairement besoin de connaissances en photographie pour pouvoir user de cette technique. Nous allons simplement décrire l'influence de chaque élément pour comprendre leurs impacts sur le nuage de points 3D.

Un smartphone dispose d'une petite taille de capteur comparé à un appareil photo reflex ou compact. Par conséquent, un smartphone reçoit moins de lumière d'où l'importance d'avoir une grande taille de capteur pour définir une surface photosensible la plus grande possible. Deuxièmement, l'ouverture influence la quantité de lumière entrant dans le capteur et impacte directement sur la netteté de l'image. Plus l'ouverture sera grande et moins la profondeur de champ sera étendue sur l'ensemble de l'image ; plus l'ouverture sera petite et plus les rayons lumineux entrant connaîtront de la diffraction, c'est-à-dire que les rayons lumineux seront déformés de forme conique et par conséquent l'image sera moins nette. Il faut donc avoir une ouverture qui aura un juste milieu, d'où l'avantage d'avoir un réglage automatisé. L'ouverture déterminera une profondeur de champ optimum afin de favoriser la corrélation des images par le logiciel, car nous rappelons que plus il y a de points homologues et meilleur sera le nuage de points 3D final. Troisièmement la sensibilité ISO est aussi déterminante lors de la corrélation, car elle permet d'avoir une profondeur de champ plus importante.

Pour conclure sur l'estimation de la gamme de smartphone, en plus d'avoir une résolution de douze mégapixels minimum, il faut un smartphone qui ait la capacité de varier

les éléments influençant la luminosité d'une photo, de manière automatique pour gagner du temps, et ainsi obtenir un nuage de point 3D de bonne qualité. L'estimation du coût d'investissement d'un smartphone est de 300 à 1200 €. Lors de ces deux dernières analyses, nous avons déterminé le type de smartphone et son coût d'achat pour pouvoir pratiquer un levé d'intérieur avec acquisition de photos via celui-ci. Pour la suite des opérations, le smartphone Huawei P30 Lite sera le smartphone de référence. La fiche technique²² de l'appareil photo du smartphone est disponible en [annexe 5](#)²³.

Nous allons à présent analyser le traitement des données sur Métashape afin de comprendre la démarche à entreprendre. Nous allons comparer les différentes configurations dans le but d'avoir le meilleur compromis entre le temps de calcul et la qualité du nuage de points 3D.

III.6 Test n°5 : traitement des données sur Agisoft Métashape pour un levé d'intérieur via un smartphone

L'objectif de ces tests est de chercher la configuration qui sera la mieux adaptée au traitement des photos et l'obtention d'un nuage de points 3D de qualité, dans le but d'aboutir à une interprétation 2D. Nous allons aborder dans un premier temps les qualités recommandées lors de l'alignement des photos et lors de la construction du nuage dense par le logiciel Métashape. Dans un second temps nous verrons comment mettre à échelle les différentes mesures. Pour finir nous regarderons le type d'exportation qu'il faut utiliser pour débiter l'interprétation du plan 2D.

III.6.1 Configuration du logiciel Agisoft Métashape pour traiter les données acquises sur le terrain

Les deux étapes de calcul concernant notre projet, après avoir ajouté les photos dans le logiciel Métashape, sont l'alignement des photos et la construction d'un nuage dense. Le logiciel propose différents niveaux de qualité lors de l'alignement des photos et lors de la construction du nuage dense à savoir : la plus basse, basse, moyenne, haute et la plus haute.

²² Source : <https://phonesdata.com/fr/smartphones/huawei/p30-lite-5743/>

²³ Annexe : Fiche technique de l'appareil photo du smartphone Huawei P30 Lite

En plus du choix de qualité de traitement, différentes configurations s’offrent à nous pour faire ces deux étapes.

Le changement de qualité affecte la taille des images pour l’alignement, c’est-à-dire qu’une réduction d’un facteur 4 sera appliquée à la taille originale de la photo à chaque niveau de qualité. Une réduction de taille de la photo entraîne moins de pixels sur l’image. En revanche le choix de qualité pour l’étape de construction du nuage dense impacte la précision de la géométrie reconstruite. L’[annexe 6²⁴](#) résume différents temps de traitement lors du levé du bureau utilisé lors du Test n°4 : étude sur les caractéristiques techniques d’un appareil photo de smartphone. Seules la moyenne et la haute qualité sont présentées car la plus basse et la basse qualité n’ont pas pu aligner la totalité des photos, du fait d’une taille trop réduite des images se traduisant par une perte de points homologues. Ensuite, pour la plus haute qualité, la contrainte est le temps de calcul excessivement long (plusieurs jours), l’excluant des choix de traitement. Les graphiques de la figure 13 montrent un pourcentage quasi équivalent sur le nombre de points inférieur à deux centimètres. De ce fait, une qualité moyenne et le meilleur compromis entre temps de calculs et qualité du nuage de points 3D.

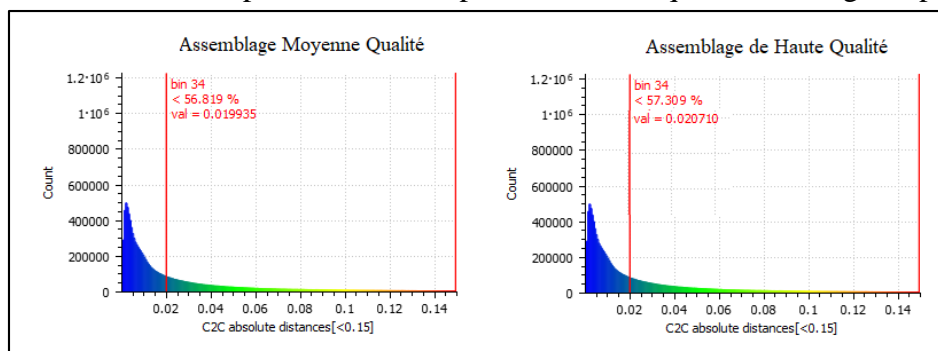


Figure 13 : : Graphiques des points en commun entre le nuage de points théorique et le nuage de points smartphone avec différentes qualités d’assemblage

Concernant la configuration dite « avancée » par le logiciel Métashape lors de la construction du nuage dense, il est recommandé d’utiliser le « filtrage profondeur : léger » c’est un algorithme qui favorise la détection de détails importants qui sont spatialement distingués dans une scène, c’est donc un avantage pour la problématique des murs avec une absence de motifs ou avec des faibles détails.

²⁴ Annexe 6 : Tableau récapitulatif sur le Test n°5 : temps de traitement des données sur Agisoft Métashape

La configuration des calculs est choisie, nous allons maintenant parler de la calibration de l'appareil photo et nous allons voir comment mettre les données dans un système de coordonnées légal ou local.

III.6.2 Calibration de l'appareil photo du smartphone Huawei P30 Lite

Tout d'abord nous rappelons que la calibration sert à déterminer les paramètres internes²⁵ de la caméra et particulièrement les coefficients de distorsions optiques. Les coefficients de distorsion optiques vont permettre de corriger les déformations des photos. De plus, en photogrammétrie la prévision de la précision des mesures se calcule via les paramètres que l'on obtient lors de la calibration. En d'autres termes si l'on veut avoir une précision de quelques millimètres, alors la taille du pixel sur l'objet doit être du même ordre de grandeur. Cette taille du pixel au sol se calcule par la formule suivante :

$$Tps = Tp \times (H / f)$$

Tps : Taille du pixel au sol (m) Tp : Taille pixel (m)

H : Distance objet (m) f : Distance focale (m)

Le cahier des charges précise que nous attendons une précision de 2 à 3 cm sur le plan 2D. Il est important de calculer la taille du pixel au sol pour connaître la prévision des mesures. Les images de smartphone sont des images numériques contenant des métadonnées EXIF²⁶. Ces métadonnées permettent une auto-calibration de l'appareil photo après l'alignement des photos et l'optimisation des caméras. L'optimisation des caméras est nécessaire pour calculer les coefficients de distorsions optiques et principalement le coefficient de distorsion radiale²⁷. Afin d'évaluer l'auto-calibration nous avons comparé celle-ci avec une calibration manuelle via Agisoft Métashape, c'est-à-dire lorsqu'on effectue l'étalonnage géométrique de la caméra avec un repère connu par le logiciel.

²⁵ Paramètres internes : pour une caméra numérique on parle de taille du photosite, de la distance principale, des coordonnées du PPA dans l'image et des paramètres de distorsion optique.

²⁶ EXIF : EXchangeable Image file Format contient des données appelées « métadonnées » contenues dans un fichier d'image numérique, elles renseignent sur la distance focale en pixel, l'ouverture, la sensibilité ISO, la résolution, le temps d'exposition et même les coordonnées de l'image si la fonction est activée.

²⁷ Distorsion radiale : altération de la prise de vue que l'on retrouve lors d'une prise de photo qui a tendance à arrondir les bords de l'image.

Le tableau de l'[annexe 7](#)²⁸ conclut que l'auto-calibration est fiable car nous avons une différence de 0.02mm avec l'étalonnage géométrique. Alors les images d'un smartphone ne nécessitent pas une calibration au préalable. L'avantage est que l'utilisateur peut prendre ses photos avec n'importe quels zooms sans avoir à faire l'étalonnage en amont. De plus, on confirme que la taille d'un pixel au sol est inférieure au millimètre, nous pouvons estimer la précision des mesures à quelques millimètres. La figure 14 ci-dessous est un extrait d'une calibration.

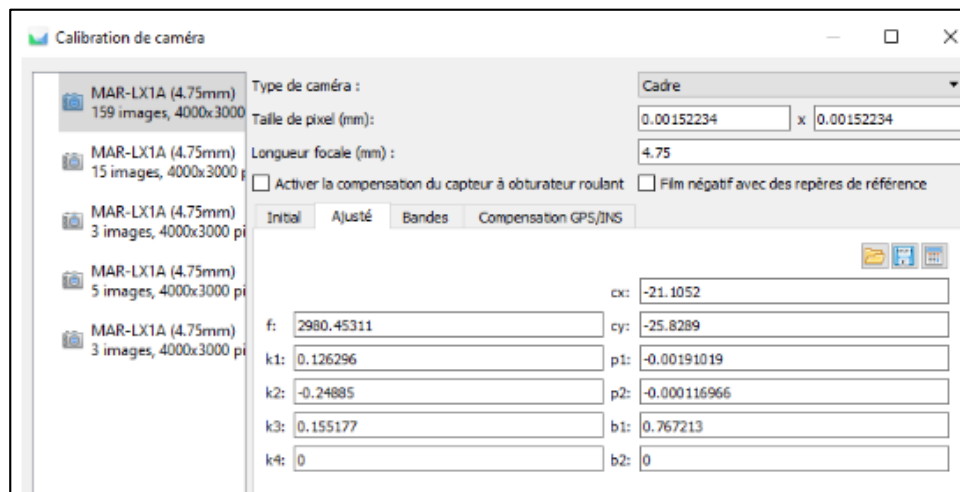


Figure 14 : Extrait d'une calibration du smartphone Huawei P30 Lite

On peut noter que la longueur focale est de 4.75 mm, cela équivaut à une focale de 27 mm pour un appareil photo reflex. L'étude « Guide pour la prise de vue photographique à destination de la plateforme C3DC » (Culture 3D Cloud, 2016) recommande d'utiliser une focale comprise entre 24 et 60 mm. Pour la suite de l'étude nous allons rester avec cette focale qui se situe dans la fourchette recommandée, dans l'intérêt d'optimiser la détection de points homologues.

III.6.3 Mise à l'échelle du nuage de points 3D

En photogrammétrie traditionnelle, le géoréférencement dans un système légal se fait par le repérage de points d'appuis²⁹ mis en place lors de la stéréopréparation³⁰. Or en levé d'intérieur il n'est pas obligatoire de géoréférencer un levé. Dans le cas où le

²⁸ Annexe 7 : Tableau des calculs sur la calibration de l'appareil photo du Huawei P30 Lite pour une distance focale de 4.25 mm

²⁹ Point d'appui : Point connu en coordonnées sur le terrain et reconnaissable sur les photos.

³⁰ Stéréopréparation : Ensemble d'opération préalable permettant le calcul des orientations des caméras.

géoréférencement dans un système légal du plan d'intérieur est demandé par le client, il faut effectuer la mise en place de points d'appui comme des cibles noires et blanches dans le bâtiment à lever. Dans le cas contraire, nous devons tout de même apporter une notion d'échelle au logiciel Métashape avant la construction du nuage dense car sans cette échelle le logiciel applique une échelle aléatoire.

La mise à l'échelle est le fait d'indiquer deux points remarquables, appelés points de repères, dans Métashape et qu'ils soient reconnaissables sur une dizaine de photos. Une fois les repères placés sur les photos, l'opérateur doit créer une « barre d'échelle » dans Métashape en indiquant la distance qui les sépare. Ce choix des points remarquables doit se faire au moment de la prise de photo et doit être mesuré à l'aide d'un mètre. Ces deux points peuvent se référer à une distance d'un mur, d'une table ou même d'une règle graduée. Ce système de mise à l'échelle offre la possibilité de ne pas effectuer la mise en place de point d'appui.

Après avoir fait l'alignement des photos, l'optimisation des caméras, la mise à l'échelle et la construction du nuage dense, il reste à exporter le nuage de points 3D pour le traitement 2D.

III.6.4 Export du nuage de points 3D

Il n'est pas possible de dessiner un plan 2D directement dans Métashape. En revanche, il est possible d'exporter les points dans différents formats comme : « dxf » ; « e57 » ; « lgs ». La particularité des exports « e57 » et « lgs » est qu'ils vont conserver la couleur des points. Le format « e57 » est le format pouvant être lu par n'importe quel logiciel de traitement de nuage de point 3D comme Cyclone ou Recap. Le cabinet Axis- Conseils dispose de ces deux logiciels mais il travaille plus souvent avec le logiciel Cyclone qui permet de faire une passerelle avec l'application CloudWorx disponible sur Autocad. Ce processus peut être lourd et il nécessite l'achat de plusieurs licences qui sont assez coûteuses. Concernant la taille d'un fichier de points, si nous comparons le fichier de points obtenu avec un scanner laser fixe et un fichier de points obtenu avec l'acquisition par smartphone, nous sommes sensiblement sur la même taille. Le fichier de points du Test n°4 obtenu avec le Leica BLK 360 fait 44 633 Ko pour 12 042 149 points, alors que pour le fichier de points obtenu avec le smartphone, nous avons 331 613 Ko pour 12 127 997 points.

III.6.5 Conclusion sur le traitement des données sur Agisoft Métashape

Pour conclure, nous remarquons que le temps de calcul sur une pièce se fait en une trentaine de minutes. Cette durée de traitement est équivalente au temps nécessaire pour télécharger les données d'un scanner laser et faire son assemblage. Ensuite, la mise à l'échelle du dessin se fait facilement puisque cette manipulation nécessite simplement de connaître une distance entre deux points remarquables connus auparavant et visibles sur une dizaine de clichés. De plus, la calibration des caméras n'est pas à faire grâce aux métadonnées EXIF, laissant la possibilité à l'utilisateur de travailler en combinant les zooms sans contraintes techniques. Pour finir, la principale difficulté est l'utilisation de multiples logiciels pour débiter l'interprétation du plan 2D. Un cabinet doit s'équiper de trois logiciels : Agisoft Métashape, Cyclone et Autocad. L'estimation du coût d'achat de l'ensemble des logiciels est de 12 000€ annuel.

A présent nous savons quelles méthodes adopter sur le terrain et nous avons une fourchette d'estimation du prix d'un smartphone. De plus, nous savons les méthodes à suivre pour traiter l'acquisition des photos jusqu'à l'obtention d'un nuage de points 3D sur le logiciel de CAO/DAO Autocad. La suite de l'étude abordera les différentes précisions sur le nuage de points 3D.

III.6.6 Évaluation sur la précision relative et absolue du nuage de points 3D

L'évaluation de la qualité du nuage de points 3D se calcule avec la précision relative et la précision absolue vues lors du cahier des charges. Pendant la réalisation du test n°4, huit cibles sont placées afin d'évaluer ces précisions. Les cibles choisies sont des cibles de type 12 bits détectables automatiquement par le logiciel Agisoft Métashape. En amont, nous avons déterminé les coordonnées locales de ces cibles via le scanner laser Leica BLK 360, servant de coordonnées « théoriques ». La détermination de ses coordonnées est influencée par la précision de portée de l'appareil donnée par le constructeur qui est de 6mm à 10m³¹. De plus, il faut prendre en compte l'erreur de pointé sur les cibles puisque ces cibles ne sont pas détectables automatiquement par le logiciel Cyclone, par conséquent c'est l'utilisateur qui pointe le centre des huit cibles pour avoir leurs coordonnées. Une fois les

³¹ Source : <https://shop.leica-geosystems.com/fr/fr-FR/learn/reality-capture/blk360>

coordonnées « théoriques » des huit cibles déterminées, nous pouvons construire le nuage dense acquis par le smartphone avec les configurations vues précédemment sur le logiciel de traitement. Les nuages doivent être dans le même système de coordonnées pour permettre les différents calculs de précision. Le géoréférencement du nuage de points acquis par smartphone s'effectue dans un premier temps par la détection automatique des cibles, permettant d'éliminer l'erreur de pointé. Dans un second temps, l'utilisateur effectue l'insertion des coordonnées. Trois cibles ont servi à géoréférencer le nuage de points, elles sont réparties dans la pièce dans le but d'homogénéiser la procédure. La figure 15 ci-dessous montre des écarts de l'ordre du millimètre sur la détection automatique de cible.

Repères	Erreur (m)	Projections	Erreur (px)
<input checked="" type="checkbox"/> 13	0.003090	13	0.355
<input checked="" type="checkbox"/> 15	0.004447	3	0.596
<input checked="" type="checkbox"/> 19	0.006672	13	0.497

Figure 15 : Erreurs sur la détection des cibles automatique

A présent les deux nuages de points sont dans le même système, nous pouvons poursuivre l'opération avec l'étape de construction du nuage dense. Nous pouvons calculer les précisions des cinq dernières cibles. Les tableaux de l'[annexe 8](#)³² exposent d'une part la précision relative et d'autre part la précision absolue. Concernant la précision relative, nous obtenons une erreur moyenne 2D de 2 mm sur les cinq cibles. Donc le nuage de points obtenu par smartphone entre dans la précision souhaitée. Il reste maintenant à analyser la précision absolue que l'on obtient avec la formule suivante :

$$E_{3D} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{(X_{m,i} - X_i)^2 + (Y_{m,i} - Y_i)^2 + (Z_{m,i} - Z_i)^2}$$

avec N est le nombre de points de contrôle

Elle permet de calculer l'erreur moyenne 3D du nuage de points. Une nouvelle fois le tableau de l'[annexe 8](#) expose une erreur moyenne 3D de 7 mm.

³² Annexe 8 : Tableau des calculs sur la précision relative et la précision absolue

Pour conclure sur les différentes précisions, nous constatons par ces observations que dans le cas où les points sont parfaitement déterminés, nous arrivons à avoir des points combinant bonne distance entre eux et bon positionnement dans l'espace. Maintenant il faut rappeler que lors de nos tests, nous avons remarqué des difficultés à avoir un nuage de points complet et homogène dû à la quantité de bruit généré. C'est pour cela que la dernière partie de l'étude reprendra toutes ces observations et ces recommandations expérimentales pour pouvoir l'appliquer sur un levé d'intérieur en condition professionnelle.

IV Levé d'intérieur en condition professionnelle

IV.1 Introduction

L'objectif de cette partie est de confronter la méthode de travail en situation professionnelle avec évaluation du temps passé sur le terrain et du temps passé pour dresser le plan 2D. Cette évaluation est comparée à un levé théorique avec le Leica BLK 360 afin de voir si la méthode de travail peut être envisagée dans une des agences de la société Axis-Conseils. Le levé est une maison individuelle de type T4 avec une surface habitable d'environ 100m². Le logement compte un escalier, un garage et des hauteurs sous-plafond inférieur à 1m80.

IV.2 Comparaison sur le temps de travail

Débutons l'analyse avec la comparaison du temps passé et la taille des fichiers entre le levé théorique et le levé par smartphone. Le tableau 2 ci-dessous constate que nous allons passer deux fois plus de temps pour réaliser un dossier sur un levé d'intérieur d'une maison d'environ 100 m². La quantité de travail est plus importante par photogrammétrie puisque que la réalisation du plan 2D prends plus de temps du aux bruits du nuage de points. Le bruit demande à l'opérateur plus de temps pour bien distinguer les éléments et trier les bons points des points parasites. En revanche la taille du fichier de points est moins importante par photogrammétrie qu'avec des mesures faites par un scanner laser.

Conclusion sur les temps de travail		
Éléments de comparaison	Levé Théorique	Levé par smartphone
Levé	2 heures et 20 minutes	3 heures
Calcul	50 minutes	5 heures et 10 minutes
Réalisation du plan	4 heures	8 heures et 30 minutes
Total du temps passé	7 heures et 10 minutes	16 heures et 35 minutes
Nombre de station / photos	34 stations	2 478 photos
Taille fichier (e57)	9.00 GO (sans photos)	3.46 GO (+ 7 Go photos)

Tableau 2 : Comparaison du temps de travail entre le scanner laser 3D et la photogrammétrie via un smartphone

Maintenant nous devons analyser les précisions pour voir si ces critères sont remplis sur un levé de plus grande envergure.

IV.3 Analyse sur les précisions du nuage de points 3D

La méthodologie du contrôle des précisions reprend le même protocole qu'entrepris auparavant. A nouveau trois cibles détectables automatiquement ont servi pour mettre les deux nuages de points dans le même système et quatre autres cibles placées au rez-de-chaussée et le premier étage ont servi pour calculer les écarts de positionnement. On les retrouve dans l'[annexe 9](#)³³.




Repères	Erreur (m)	Projections	Erreur (px)
<input checked="" type="checkbox"/>  Cible 1	0.008224	20	1.335
<input checked="" type="checkbox"/>  Cible 2	0.005603	25	1.922
<input checked="" type="checkbox"/>  Cible 3	0.009751	16	1.393

Figure 16 : Erreur sur la détection des cibles automatiques lors du levé en condition professionnelle

Une nouvelle fois même avec plusieurs pièces et des niveaux d'étages différents nous conservons une précision relative inférieure au centimètre et une précision absolue d'un centimètre sur les cibles qui n'ont pas servis au recalage. Ce qui permet de valider le critère qualitatif du projet.

³³ Annexe 9 : Tableau des calculs sur la précision relative et la précision absolue

IV.4 Réalisation du plan 2D et comparaison des surfaces

IV.4.1 Réalisation du plan

Les recommandations et les observations que nous avons vues auparavant ont été réappliquées lors de cette mise en situation. La figure 17 montre qu'au niveau du sol le nuage de points est parfaitement représenté et il permet une interprétation optimum pour le plan 2D.

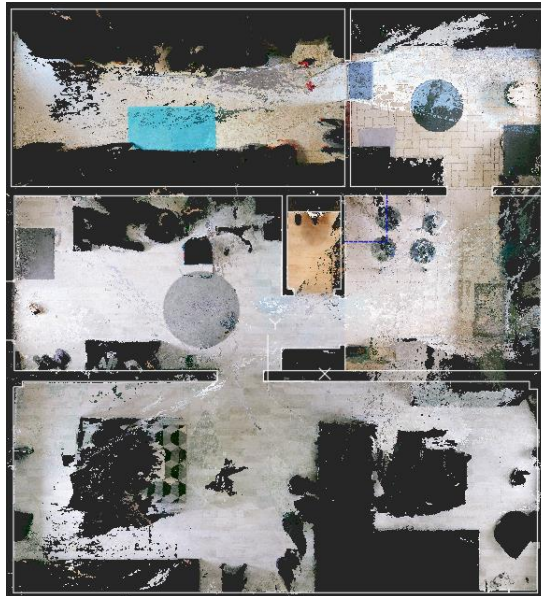


Figure 17 : Extrait du nuage de points au niveau du sol pour une interprétation 2D

On note aussi que l'identification d'équipements comme les radiateurs, la tuyauterie, les poutres, les escaliers peuvent être réalisés sur le plan 2D. Pour finir, nous constatons que la réalisation du plan 2D se fait sans trop de difficulté, mais le fait de manipuler plusieurs logiciels demande de l'organisation et de la méthodologie.

La figure 18 illustre qu'il est difficile de faire un plan de coupe avec cette méthode car le bruit présent dans le nuage de points 3D rend possible le plan 2D perçu en vue de dessus, mais rend impossible la perception des éléments lorsqu'on passe en vue de face. A présent, il reste à comparer les erreurs de surface entre le plan théorique et le plan obtenu avec le smartphone pour confirmer que l'interprétation ne va pas être perturbée par le bruit omniprésent dans le nuage de points.

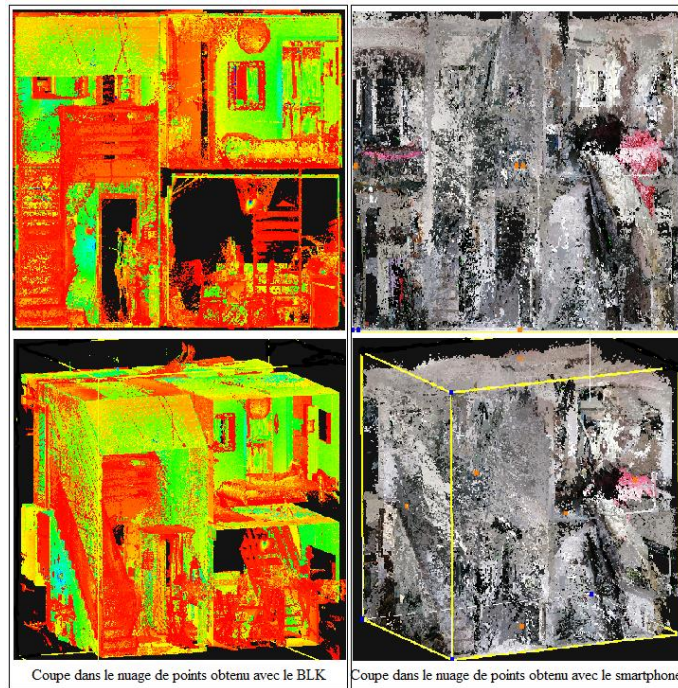


Figure 18 : Comparaison sur la visualisation des nuages pour effectuer un plan de coupe

IV.4.2 Comparaisons des surfaces entre le levé au scanner laser Leica BLK 360 et un Huawei P30 Lite

Pour finir les comparaisons, nous allons analyser les écarts de surface entre les deux méthodes de travail afin de vérifier si malgré une interprétation plus longue et plus difficile avec le smartphone nous arrivons à un résultat final de qualité. Nous remarquons une erreur de surface totale de 4 cm² entre les deux méthodes. Cette erreur infime souligne encore une fois que la méthode d'acquisition peut être une alternative pour obtenir un nuage de points 3D dans le but de réaliser des plans 2D. Ce dernier test a permis d'expérimenter la méthodologie de travail dans des conditions professionnelles pour ainsi concrétiser les démarches entreprises.

Comparaison de surface			
Pièces	Surface Théorique (m ²)	Surface Calculée (m ²)	Δ Surface (m ²)
Garage	13,82	13,81	0,01
Arrière cuisine	7,94	7,93	0,01
Cuisine	8,03	8	0,03
WC	0,93	0,96	-0,03
Entrée	10	10,02	-0,02
Salon	25,83	25,81	0,02
Chambre 1	14,44	14,53	-0,09
Chambre 2	10,7	10,75	-0,05
Couloir	3,24	3,27	-0,03
SDB	4,72	4,65	0,07
Chambre 3	14,08	14,04	0,04
Erreur moyenne (m ²)		0,036	
Surface totale (m ²)	113,73	113,77	-0,04

Tableau 3 : Comparaison des surfaces obtenues avec le Leica BLK 360 et le smartphone Huawei P30 Lite

Conclusion

L'ensemble des mises en situations de la méthode de travail, nous amène à faire le bilan sur la faisabilité d'effectuer un levé d'intérieur via un smartphone. L'un des objectifs majeurs de ce projet est de pouvoir réaliser des plans d'intérieur avec une précision de deux à trois centimètres, avec un coût d'investissement au départ moins élevé qu'avec un scanner laser.

Les tests préliminaires nous ont montrés qu'il est possible d'avoir un nuage de points 3D via des photos prises par un smartphone coûtant trois cents euros. Nous avons aussi constaté des difficultés à obtenir un nuage de points homogène dans certaines conditions. Cette méthode de travail demande une méthodologie rigoureuse pour obtenir des données de meilleure qualité possible. En revanche, malgré ces difficultés, des solutions intermédiaires peuvent être mises en œuvre pour les contourner, comme accentuer le nombre de photos ou accentuer les photos dans les zones présentant les meilleures conditions pour la détection de points homologues lors du traitement des données.

Ensuite intervient la notion de précision, c'est l'élément qualitatif du projet permettant en partie la validation de la méthode de travail. Lors de la phase expérimentale nous avons obtenu des précisions de l'ordre du millimètre. Cette précision se confirme également lors de la mise en situation en condition professionnelle, puisque que le plan 2D s'est réalisé avec une précision de quelques millimètres. L'inconvénient est le temps passé pour réaliser la mission qui est deux fois plus longue qu'avec un scanner laser, mais au final le nuage de points 3D obtenu par photogrammétrie via un smartphone remplit toutes les conditions pour avoir un plan 2D avec une précision de quelques millimètres.

Pour conclure, effectuer un levé d'intérieur par photogrammétrie via un smartphone est réalisable avec un coût d'investissement entre 12 000€ et 14 000€ car il faut se munir du logiciel Agisoft Métashape, Cyclone et un smartphone avec minimum 12 mégapixels coûtant minimum 300€. Les précisions obtenues sur le nuage de points 3D et le plan 2D sont de quelques millimètres, ce résultat valide la qualité de la méthode de travail. Concernant la qualification des personnes pouvant user de cette méthode, celle-ci ne demande pas de qualification particulière, mais l'expérience joue un rôle important afin de respecter les recommandations comme le recouvrement entre une paire de photos, afin d'éviter une

impossibilité d'aligner les photos et des zones d'occlusions. Cette impossibilité de construire une base de données fiable est l'inconvénient majeur du projet car un manque de données empêchera la construction du nuage de points 3D et le report des données en 2D. De plus le temps global pour effectuer une mission de levé d'intérieur est deux fois supérieur à une mission au scanner laser, cela ajoute un élément important qu'il faut prendre en compte si la société Axis Conseils souhaite utiliser cette méthode de travail.

Pour finir, le fait d'utiliser un smartphone offre la possibilité d'accéder à des applications mobiles. Il existe des applications pour réaliser des plans d'intérieurs directement via le smartphone. Ces applications s'inspirent beaucoup du principe des levés d'intérieurs par plan d'intérieur compensé vu lors de l'état de l'art. L'avantage est que l'on a aussi un investissement à moindre coût et que l'on peut contrôler le travail directement sur le terrain avec comme finalité un export au format « dxf ». Cet avantage permettrait de retirer l'incertitude que l'on peut avoir lors de la photogrammétrie, mais laisse un doute sur les précisions obtenues et sur la possibilité de rattacher le plan dans un système légal. Il serait également intéressant d'étudier la fiabilité de ces applications.

Bibliographie

Travaux universitaires

[1] FERNANDEZ-CUIRET.S, 2013. « Étude comparative des différentes méthodes du levé d'intérieur d'un bâtiment en vue de réhabilitation et analyse des besoins et des moyens d'un architecte dans le but de produire une modélisation 3D optimale ». [En ligne] Rapport de travaux de fin d'étude, École supérieure des géomètre topographe, 60p. Disponible sur : < <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00920478/document> > (Consulté le 01/02/2021).

[2] LEBLAN C, COUDERETTE F, MAGNETTI A et MESAL L, 2018. « Modélisation 3D : Du participatif au relevé de précision ». [En ligne] Rapport de projet, École nationale des sciences géographique , 30p. Disponible sur < http://dias.ensg.eu/Terrain/Data/Participatif/Rapport_Final_Projet_Modelisation_3D.pdf > (consulté le 03/02/2021).

[3] SEELEN Amandine, 2018. « La photogrammétrie par smartphone au service du récolement de réseau en fouille ouverte ». [En ligne] Rapport travaux de fin d'étude, École supérieure des géomètres topographes, 66p. Disponible sur : < <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02094261/document> > (consulté le 01/02/2021).

Article de revues professionnelles ou généraliste

[4] Culture 3D Cloud. *Guide pour la prise de vue photogrammétrique à destination de la plateforme C3DC*. [En ligne], 2016. Disponible sur < http://www.tapenade.gamsau.archi.fr/Culture3Dcloud_UsersGuideline.pdf > (consulté le 23/02/2021).

[5] Géomètre. *Scanners laser mobiles Les solutions récentes*. [En ligne], 2021, n°2189. Disponible sur : < <http://www.geometre-lemag.fr/lire/98/c043f8aa33eefb9f8dc1f2eb51ff54b5> > (consulté le 10/03/2021).

[6] Ordre des Géomètres-Experts. 2019, *Une année avec les géomètres-experts. Rapport d'activité et de développement durable*. [En ligne], 2019. Disponible sur < http://www.geometre-expert.fr/upload/docs/application/pdf/2020-02/oge_ra_2019_pap_1.pdf > (consulté le 12/03/2021).

[7] Géomètre. *Surface du bâti. Simplifier, harmoniser*. [En ligne], 2017, n°2152. Disponible sur : < <http://www.geometre-lemag.fr/lire/35/c043f8aa33eefb9f8dc1f2eb51ff54b5> > (consulté le 12/03/2021).

Textes législatifs et réglementaire

[8] Article R. 111-2 du code de la construction et de l'habitation [en ligne]. Disponible sur : < https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000039041453/ >

[9] Article R. 112-2 du code de l'urbanisme [en ligne]. Disponible sur : < https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000025100231/2012-03-01 >

[10] JORF n°252 du 30 octobre 2003, Arrêté du 16 septembre 2003 [en ligne]. Disponible sur : < <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000794936> >

[11] JORF n°295 du 19 décembre 1996, Loi n°96-1107 améliorant la protection des acquéreurs de lots de copropriété [en ligne]. Disponible sur : < <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000196731> >

Sites web

[12] Ordre des géomètres experts. Les surfaces, [en ligne] disponible sur : < <https://www.geometres-experts.com/les-surfaces/> > (consulté le 17/02/2021).

[13] Ordre des géomètres experts, 2018. « Recueil des prestations ». [En ligne] Disponible sur < http://www.geometre-expert.fr/upload/docs/application/pdf/2019-06/recueildesprestations_01_web.pdf > (consulté le 09/02/2021).

[14] Numérisation 3D et construction. Photogrammétrie : Comment bien prendre les photos ? [En ligne] disponible sur : < <https://numerisation3d.construction/photogrammetrie-comment-prendre-photos/?v=11aedd0e4327#1-la-resolution> > (consulté le 15/02/2021).

[15] Les numériques : Les tailles de capteurs et les focales équivalentes [en ligne] disponible sur : < <https://www.lesnumeriques.com/photo/les-tailles-de-capteurs-et-les-focales-equivalentes-pu120369.html> > (consulté le 15/02/2021)

[16] Agisoft Metashape, Agisoft PhotoScanManuel de l'utilisateur Professional Edition, Version 1.7 [en ligne] disponible sur : < https://www.agisoft.com/pdf/manuals_other/pscan_pro_fr_1.7.pdf > (consulté le 25/02/2021).

Table des annexes

Annexe 1 Tableau récapitulatif du cahier des charges.....	64
Annexe 2 Tableau récapitulatif sur le Test n°1 : calculs sur les angles de visées	65
Annexe 3 Test n°3 : étude sur le comportement à adopter par l'utilisateur lors d'une acquisition de photo.....	67
Annexe 4 Tableau récapitulatif sur le Test n°4 : comparaison des nuages de points obtenus avec différentes résolutions.....	67
Annexe 5 Fiche technique de l'appareil photo du smartphone Huawei P30 Lite	68
Annexe 6 Tableau récapitulatif sur le Test n°5 : temps de traitement des données sur Agisoft Métashape.....	69
Annexe 7 Tableau des calculs sur la calibration de l'appareil photo du Huawei P30 Lite pour une distance focale de 4.25 mm	70
Annexe 8 Tableau des calculs sur la précision absolue et la précision relative	71
Annexe 9 Tableau des calculs sur la précision absolue et la précision relative	72

Annexe 1

Tableau récapitulatif du cahier des charges

Cahier des charges			
Réalisation d'un levé d'intérieur par photogrammétrie via un smartphone			
Demandeur	SARL Axis Conseils		
Réalisateur	Maxence Augé		
Le besoin	Réaliser des plans d'intérieurs		
Délai	Du 01/02/2021 au 18/06/2021		
Ressource nécessaire	Ressources acquises		Ressource à s'approprier
	Matériels	Logiciel	Matériels
	Cible noire et blanche Distance mètre Scanner laser fixe	Agisoft Métashape Cloud Compare	Smartphone Trépied pour smartphone
Fonctions	Critère d'appréciation	Définitions des problèmes	Définition des contraintes
FP 1 : Produire des plans d'intérieurs	Produire des plans adaptés à la demande du client.	Produire des plans conformes aux précisions absolues et relatives fixées	Précision absolue et relative du plan 2D entre 2 et 3 cm.
FC 1 : Mesurer un ensemble de pièces avec des photographies prises par smartphone	Les mesures doivent respecter les précisions fixées.	Adaptation selon la configuration des pièces. Adaptation selon la luminosité de la pièce. Adaptation selon les encombrements de la pièce. Liaisons entre les pièces.	Précision absolue et relative du nuage de points 3D entre 2 et 3 cm.
FC 2 : Rentabilité	Investissement plus faible qu'un scanner laser	Temps passé pour prendre les photos. Temps de calcul du traitement des images. Temps d'interprétation des données 3D en 2D.	Possibilité d'effectuer un plan 2D en prenant en compte l'environnement de la pièce.
FC 3 : Stockage des données	Faible taille des données comparée à des données acquises par un scanner laser.	Une qualité de photo trop importante demande un grand espace de mémoire. Taille du fichier du nuage de points	Facilité de stockage des données sur un serveur.

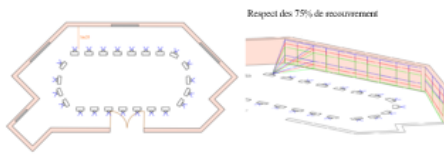
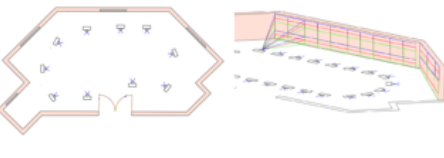
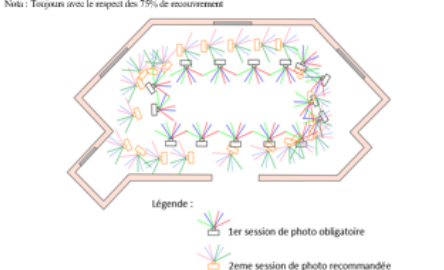
Annexe 2

Tableau récapitulatif sur le Test n°1 : calculs sur les angles de visées

Test n°1 : calculs sur les angles de visées					
Test n°1 – Prise de photo avec un angle de visée de 10°					
Nombre de photos	Qualité d'assemblage		Description prise de vue	Commentaire	Taille export (.las)
177	Alignement des photos	Nuage dense	Les clichés sont pris avec le plus grand recul possible pour capturer dès le premier cliché le sol et le plafond. Ensuite, sur la même position deux autres photos sont prises pour avoir des points de vue différents de la même scène. Un angle de 10° entre chaque photo est respecté pour se placer dans les conditions optimums. De plus, un décalage d'environ un pas est effectué pour changer de position.	L'utilisation de l'application encadre la prise de photo. On remarque beaucoup de bruit sur l'assemblage, notamment, sur les murs unis contrairement aux tableaux, au sol ou même l'armoire qui sont parfaitement représentés sans avoir de bruit. Une première problématique se distingue, à savoir est-ce qu'un mur uni ou avec peu de texture peut être un obstacle pour la qualité du nuage points.	351 042 Ko
	Moyenne qualité	Moyenne qualité			
	177/177	13 982 249			
	55 903 points de liaisons				
	Temps	Temps			
6 minutes et 53 secondes	1h 3min et 11secondes				
Test n°1 – Prise de photo avec un angle de visée déterminé par l'utilisateur					
Nombre de photos	Qualité d'assemblage		Description prise de vue	Commentaire	Taille export (.las)
182	Alignement des photos	Nuage dense	Idem que « Test n°1- Prise de photo avec un angle de visée de 10° » en revanche il n'y a pas de repère angulaire. C'est l'utilisateur avec le smartphone en main, qui juge l'angle et les variations de positions entre chaque photo.	On remarque que la quantité de photo est sensiblement la même, c'est-à-dire que l'utilisateur peut se fier au décalage qu'il effectue entre 2 photos. Ensuite, confirmation de la difficulté à construire un nuage dense sur les murs unis. Ce problème pourrait venir du reflet de la lumière provoqué par la peinture à effet brillant. De ce fait, nous pouvons nous demander s'il existe des configurations à mettre en œuvre lors de la prise de photo ou/et une configuration de calcul propre au logiciel Métashape pour atténuer se manque d'information	419 268 Ko
	Moyenne qualité	Moyenne qualité			
	182/182	14 310 952			
	57 883 points de liaisons				
	Temps	Temps			
6 minutes 28 secondes	1h 3min et 16 secondes				

Annexe 3

Test n°3 : étude sur le comportement à adopter par l'utilisateur lors d'une acquisition de photo

Test n°3 : étude sur le comportement à adopter par l'utilisateur lors d'une acquisition de photo				
Test n°3 – Prise de photo avec un faible recul				
Nombre de photos	Qualité d'assemblage		Description prise de vue	Commentaire
	Aigulement des photos	Nuage dense		
182	160/182	Moyenne qualité	<p>Les clichés ont été pris face au mur avec une recule de 1m-1m50. A chaque position de caméra 3 clichés sont pris en variant la position de bas en haut avec un décalage latéral d'environ 50 à 60 cm</p>  <p style="text-align: center;">Respect des 75% de recouvrement</p>	<p>Toutes les photos n'ont pas pu être assemblées dû fait qu'il y ait moins de points homologues entre les clichés, causé par le faible recul par rapport au mur. Le modèle 3D présente beaucoup d'incohérence dans la construction du nuage de points 3D et ne permet pas son exploitation en 2D</p>
	Moyenne qualité			
Test n°3 – Prise de photo avec un maximum de recul				
Nombre de photos	Qualité d'assemblage		Description prise de vue	Commentaire
	Aigulement des photos	Nuage dense		
55	55/55	Moyenne qualité	<p>Les clichés ont été pris en se plaçant aux extrémités de la pièce. A chaque position de caméra 3 clichés sont pris en variant la position de bas en haut avec un décalage latéral d'environ 80 à 100 cm</p>  <p style="text-align: center;">Respect des 75% de recouvrement</p>	<p>Données inexploitable car pas assez de photo et entraînant de multiples zones d'occlusion. Impossible de réaliser un plan 2D causé par le manque d'information</p>
	Moyenne qualité			
Test n°3 – Comportement à adopter en prise de clichés				
Nombre de photos	Qualité d'assemblage		Description prise de vue	Commentaire
	Aigulement des photos	Nuage dense		
177	177/177	Moyenne qualité	<p>Les clichés ont été pris en 2 sessions. Une première pour capturer l'ensemble des murs avec un recul plus important (2m à 2,5m) et avec au minimum 3 angles et orientations différents sur une même position de caméra. Puis une seconde session de photo pour photographier les éléments caractéristiques et recouper les points de vue de la scène, évitant ainsi les zones d'occlusions.</p> <p><small>Note : Toujours avec le respect des 75% de recouvrement</small></p>  <p style="text-align: center;">légende : ▶ 1er session de photo obligatoire ▶ 2eme session de photo recommandée</p>	<p>Données dans l'ensemble exploitable malgré quelques trous dans l'assemblage, le renforcement de la pièce n'est pas assez précis. Réalisation du modèle 2D avec une erreur de 0.4 m² comparé à la surface théorique de la pièce</p>
	Moyenne qualité			


Annexe 4

Tableau récapitulatif sur le Test n°4 : comparaison des nuages de points obtenus avec différentes résolutions

Test n°4 : comparaison des nuages de points obtenus avec différentes résolutions				
Test n°4 – Résolution 8 mégapixels				
Nombre de photos	Qualité d'assemblage		Taille image (pixels)	Taille export (.las)
223	Alignement des photos	Nuage dense	4000 x 1936	301 784 Ko
	Moyenne qualité	Moyenne qualité		
	223/223	10 659 854 points		
	40 037 points de liaisons			
	Temps	Temps		
1 minute et 50 secondes	11 minutes et 46 secondes			
Test n°4 – Résolution 12 mégapixels				
Nombre de photos	Qualité d'assemblage		Taille image (pixels)	Taille export (.las)
212	Alignement des photos	Nuage dense	4000 x 3000	390 128 Ko
	Moyenne qualité	Moyenne qualité		
	212/212	13 775 525 points		
	61 294 points de liaisons			
	Temps	Temps		
1 minute et 34 secondes	21 minutes et 7 secondes			
Test n°4 – Résolution 48 mégapixels				
Nombre de photos	Qualité d'assemblage		Taille image (pixels)	Taille export (.las)
224	Alignement des photos	Nuage dense	8000 x 6000	1 746 850 Ko
	Moyenne qualité	Moyenne qualité		
	224/224	61 682 064 points		
	115 801 points de liaisons			
	Temps	Temps		
6 minutes et 19 secondes	54 minutes et 22 secondes			

Annexe 5

Fiche technique de l'appareil photo du smartphone Huawei P30 Lite

 Appareils Photo	
Appareil Photo Principal	48 MP, Triple
Caractéristiques	
-48 MP, f/1.8, 27mm (grand-angle), 1/2.0", 0.8µm, PDAF -8 MP, 17mm (ultra grand-angle) -2 MP, f/2.4, (profondeur du cadre)	
Fonctionnalités	LED flash, HDR, panorama
Enregistrement Vidéo	1080p@30fps (gyro-EIS)
Appareil Photo Frontal, Selfie	24 MP, Unique
Caractéristiques	-24 MP, f/2.0, 26mm (grand-angle), 1/2.8", 0.9µm
Fonctionnalités	HDR
Enregistrement Vidéo	1080p@30fps

Annexe 6

Tableau récapitulatif sur le Test n°5 : temps de traitement des données sur Agisoft Métashape

Test n°5 : temps de traitement des données sur Agisoft Métashape				
Test n°5 – Moyenne qualité				
Nombre de photos	Qualité d'assemblage		Commentaire Alignement des photos	Commentaire construction nuage dense
	Alignement des photos	Construction nuage dense		
185	185/185	185/185	Dans les paramètres avancés de l'alignement des photos nous n'avons mis aucune limite de points ou de limite de points de liaisons. Le nuage de points est complet et la réalisation du plan 2D peut être faite.	Filtrage profondeur : Léger
	Moyenne qualité	Moyenne qualité		
	46 525 points de liaisons 1 minutes et 36 secondes	70 256 306 points 3D 9 minutes et 11 secondes		
Test n°5 – Haute qualité				
Nombre de photos	Qualité d'assemblage		Commentaire Alignement des photos	Commentaire construction nuage dense
	Alignement des photos	Construction nuage dense		
185	185/185	185/185	Dans les paramètres avancés de l'alignement des photos nous n'avons mis aucune limite de points ou de limite de points de liaisons. Le nuage de points est complet et la réalisation du plan 2D peut être faite.	Filtrage profondeur : Léger
	Haute qualité	Haute qualité		
	81 982 points de liaisons 2 minutes et 15 secondes	71 164 720 points 3D 29 minutes et 3 secondes		
Test n°5 – Mixte des qualités d'assemblage (1)				
Nombre de photos	Qualité d'assemblage		Commentaire Alignement des photos	Commentaire construction nuage dense
	Alignement des photos	Construction nuage dense		
185	185/185	185/185	Dans les paramètres avancés de l'alignement des photos nous n'avons mis aucune limite de points ou de limite de points de liaisons. Le nuage de points est complet et la réalisation du plan 2D peut être réalisable.	Filtrage profondeur : Léger
	Moyenne qualité	Haute qualité		
	46 870 points de liaisons 1 minutes et 39 secondes	70 488 511 points 3D 27 minutes et 48 secondes		
Test n°5 -Mixte des qualités d'assemblage (2)				
Nombre de photos	Qualité d'assemblage		Commentaire Alignement des photos	Commentaire construction nuage dense
	Alignement des photos	Construction nuage dense		
185	185/185	185/185	Dans les paramètres avancés de l'alignement des photos nous n'avons mis aucune limite de points ou de limite de points de liaisons. Le nuage de points est complet et la réalisation du plan 2D est réalisable.	Filtrage profondeur : Léger
	Haute qualité	Moyenne qualité		
	82 039 points de liaisons 1 minutes et 56 secondes	18 508 202 points 3D 8 minutes et 19 secondes		

Annexe 7

Tableau des calculs sur la calibration de l'appareil photo du Huawei P30 Lite pour une distance focale de 4.25 mm

Théoriquement (données constructeur)		Étalonnage géométrique		Auto calibration	
Distance focale	4.75 (mm)	Distance focale	4.64 ³⁴ (mm)	Distance focale	4.54 (mm)
Taille pixel (L x l)	0.00152234 x 0.00152234 (mm)	Taille pixel (L x l)	0.00152234 x 0.00152234 (mm)	Taille pixel (L x l)	0.00152234 x 0.00152234 (mm)
f (focale)	3120.1886 (pixel)	f (focale)	3055.45082 ³⁵ (pixel)	f (focale)	3055.45082 ³⁶ (pixel)
Distance objet	2 ³⁷ (m)	Distance objet	2 (m)	Distance objet	2 (m)
Taille théorique du pixel au sol (application de la formule)		Taille du pixel au sol (application de la formule)		Taille du pixel au sol (application de la formule)	
Tps (1) = 0.64 mm		Tps (2) = 0.65 mm		Tps (3) = 0.67 mm	
Écart (Tps (2) - Tps (3))				0.02 mm	

³⁴ Distance focale calculé par : $f \times L$

³⁵ Focale (f) en pixel obtenue après le processus de calibration sur le logiciel Métashape

³⁶ Focale (f) en pixel déterminé par le logiciel Métashape après alignement des photos et optimisation des caméras

³⁷ Estimation de la distance moyenne de prise de vue.

Annexe 8

Tableau des calculs sur la précision relative et la précision absolue

Comparaison des coordonnées de 5 cibles entre un BLK360 et par photogrammétrie via un smartphone									
Cible	Coordonnées Théorique (m)			Coordonnées Reconstituées (m)			Erreurs (m)		
N	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-9.07	2.729	-0.499	-9.075	2.727	-0.501	0.005	0.002	0.002
2	-9.768	1.767	0.484	-9.767	1.759	0.485	-0.001	0.008	-0.001
3	-9.526	-0.7	-0.479	-9.52	-0.709	-0.477	-0.006	0.009	-0.002
4	-7.305	-1.483	0.024	-7.3	-1.487	0.025	-0.005	0.004	-0.001
5	-5.931	-0.791	0.695	-5.933	-0.786	0.696	0.002	-0.005	-0.001
Précision Relative									
Calcul erreur moyenne de distance (Em2D)									
Points	Distance Théorique (m)	Distance Reconstituée (m)	Δ Distance (m)	Em2D	Observation				
1 et 2	1.5424	1.5453	-0.003	0.0022	La distance entre deux points est en moyenne à 2 mm de sa distance théorique				
2 et 3	2.6593	2.6604	-0.001						
3 et 4	2.4081	2.4053	0.0028						
4 et 5	1.6784	1.6764	0.002						
Précision Absolue									
Calcul erreur moyenne 3D (Em3D)									
Cible	$(X_{m,i} - X_i)^2$	$(Y_{m,i} - Y_i)^2$	$(Z_{m,i} - Z_i)^2$	Erreur 3D (E3D)	Em3D	Observation			
N	X	Y	Z	/	$\sum N$	Les cibles sont positionnées géométriquement en moyenne à 7 mm de son positionnement théorique			
1	0.000025	0.000004	0.000004	0.0057	0.0074				
2	0.000001	0.000064	0.000001	0.0081					
3	0.000036	0.000081	0.000004	0.011					
4	0.000025	0.000016	0.000001	0.0065					
5	0.000004	0.000025	0.000001	0.0055					

Annexe 9

Tableau des calculs sur la précision relative et la précision absolue

Comparaison des coordonnées de 4 cibles entre un BLK360 et par photogrammétrie via un smartphone									
Cible	Coordonnées Théorique (m)			Coordonnées Reconstituées (m)			Erreurs (m)		
N	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-10.434	1.441	0.974	-10.435	1.448	0.971	0.001	-0.007	0.003
2	-5.115	3.721	0.732	-5.117	3.706	0.735	0.002	0.015	-0.003
3	-4.583	7.555	0.378	-4.568	7.532	0.389	-0.015	0.023	-0.011
4	-7.977	0.634	3.34	-7.98	0.637	3.34	0.003	-0.003	0
Précision Relative									
Calcul erreur moyenne de distance (Em2D)									
Points	Distance Théorique (m)	Distance reconstituées (m)	Δ Distance (m)	Em2D	Observation				
1 et 2	5.7921	5.7823	0.0098	0.0086	La distance entre deux points est en moyenne à 9 mm de sa distance théorique				
2 et 3	3.8869	3.8806	0.0062						
3 et 4	8.2579	8.2396	0.0183						
Précision Absolue									
Calcul erreur moyenne 3D (Em3D)									
Cible	$(X_{m,i} - X_i)^2$	$(Y_{m,i} - Y_i)^2$	$(Z_{m,i} - Z_i)^2$	Erreur 3D (E3D)	Em3D	Observation			
N	X	Y	Z	/	$\sum N$				
1	0.000001	0.000049	0.000009	0.0077	0.0114	Les cibles sont positionnées géométriquement en moyenne à 1 cm de son positionnement théorique			
2	0.000004	0.000225	0.000009	0.0154					
3	0.000225	0.000529	0.000121	0.0296					
4	0.000009	0.000009	0	0.0042					

Liste des figures

Figure 1 : Interface du module niveau laser de l'application « Angle Meter »	30
Figure 2 : Comparaison des nuages de points avec différents angles de visée entre une paire de photos. Au-dessus le nuage de points avec assistance angulaire et en dessous le nuage de points sans assistance angulaire.....	32
Figure 3 : Extrait du nuage de points 3D de la salle de réunion A gauche de l'image l'armoire, en centre la porte d'entrée de la salle de réunion de couleur violette et à droite de l'image le tableau.....	33
Figure 4 : Comparaison du bruit causé par une surface uni et une surface avec motif sur le logiciel Autocad	34
Figure 5 : Comparaison des points homologues avec la projection d'un motif sur un mur uni.....	35
Figure 6 : Comparaison entre le nuage de points sans et avec la projection du motif dans le logiciel Autocad.....	36
Figure 7 : Coupe horizontale logement étudiant à un mètre du sol - Zone de bruit du nuage de points.....	37
Figure 8 : Coupe horizontale logement étudiant au niveau de la plinthe	38
Figure 9 : Exemple d'étape de photo à prendre lors d'un levé d'intérieur via un smartphone. La première photo capture le sol et le plus de détails possibles à environs 2m du mur. La deuxième photo est prise sur la même position un peu plus haut, en gardant environ 75% de recouvrement par rapport à la précédente. Pour finir la troisième photo doit finir sur le plafond avec encore le recouvrement à respecter sur la même position de caméra.	41
Figure 10 : Schématisation du protocole de déplacement et prise de photos à effectuer lors d'un levé d'intérieur par photogrammétrie.	42
Figure 11 : Aperçu de l'encombrement disposé dans la pièce.....	43
Figure 12 : Graphiques des points en commun entre le nuage de points théorique et le nuage de points smartphone avec différentes résolutions.	45
Figure 13 : : Graphiques des points en commun entre le nuage de points théorique et le nuage de points smartphone avec différentes qualités d'assemblage	48
Figure 14 : Extrait d'une calibration du smartphone Huawei P30 Lite ..	50
Figure 15 : Erreurs sur la détection des cibles automatique	53
Figure 16 : Erreur sur la détection des cibles automatiques lors du levé en condition professionnelle	55
Figure 17 : Extrait du nuage de points au niveau du sol pour une interprétation 2D	56
Figure 18 : Comparaison sur la visualisation des nuages pour effectuer un plan de coupe	57

Liste des tableaux

Tableau 1 : Ressources nécessaires pour le projet Etude sur la réalisation d'un levé d'intérieur par photogrammétrie via un smartphone	28
Tableau 2 : Comparaison du temps de travail entre le scanner laser 3D et la photogrammétrie via un smartphone	54
Tableau 3 : Comparaison des surfaces obtenues avec le Leica BLK 360 et le smartphone Huawei P30 Lite	57

Étude sur la réalisation d'un levé d'intérieur par photogrammétrie via un smartphone.

Mémoire de Master C.N.A.M., Le Mans 2021

RESUME

Le nuage de points 3D pour réaliser des plans d'intérieur est un enjeu majeur. De nos jours, c'est le scanner laser qui prédomine dans ce domaine, mais son coût d'investissement reste élevé et non accessible pour certaines entreprises. La photogrammétrie est une méthode de travail permettant d'acquérir des données en 3D via des photographies.

La combinaison de cette méthode de travail avec des photos prises par un smartphone peut être la solution pour obtenir un nuage de points 3D à moindre coût. Nous devons nous intéresser aux caractéristiques techniques du smartphone pour obtenir des photos de qualité qui permettront de créer un plan 2D.

A travers des essais nous avons démontré qu'il est possible d'obtenir un nuage de points 3D et ainsi effectuer des plans 2D.

Mots clés : Photogrammétrie, smartphone, nuage de points 3D, plan 2D.

SUMMARY

The 3D point cloud for making interior plans is a major issue. Nowadays, the laser scanner predominates in this field, but its investment cost remains high and inaccessible for some companies. Photogrammetry is a working method for acquiring 3D data via photographs.

The combination of this working method with photos taken by a smartphone can be the solution to obtain a 3D point cloud at a lower cost. We must be interested in the technical characteristics of the smartphone to obtain quality photos that will create a 2D plan.

Through tests we have shown that it is possible to obtain a 3D point cloud and thus make 2D plans.

Key words : Photogrammetry, smartphone, 3D point cloud, 2D plans.