



HAL
open science

Étude comparative du système d'acquisition dynamique BLK-To-Go avec d'autres systèmes de cartographie mobile d'intérieur

Nicolas Amadiou

► **To cite this version:**

Nicolas Amadiou. Étude comparative du système d'acquisition dynamique BLK-To-Go avec d'autres systèmes de cartographie mobile d'intérieur. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2021. dumas-03526307

HAL Id: dumas-03526307

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03526307>

Submitted on 14 Jan 2022

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
ECOLE SUPERIEURE DES GEOMETRES ET TOPOGRAPHES

MEMOIRE

présenté en vue d'obtenir

le **DIPLOME D'INGENIEUR CNAM**

SPECIALITE : Géomètre et Topographe

par

Nicolas AMADIEU

Etude comparative du système d'acquisition dynamique BLK-To-Go avec
d'autres systèmes de cartographie mobile d'intérieur.

Soutenu le 10 Septembre 2021

JURY

Monsieur Jérôme VERDUN	Président du jury
Monsieur Alexandre LAMBLIN	Maître de stage
Monsieur José CALI	Enseignant référent

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur Éric MALENFER, président de Gexpertise, de m'avoir accueilli au sein de son entreprise, de Monsieur Olivier MINOT, Directeur du Département Immobilier et Monsieur Géraud de VAUGELADE, directeur du pôle GeoTop, de m'avoir fait confiance pour la réalisation de mon stage et de m'avoir intégré au sein de son pôle.

Je remercie également mon maître de stage, Monsieur Alexandre LAMBLIN, ainsi que son responsable d'équipe Monsieur Charbel-Antoine MALAK, qui m'ont tous deux apporté leur expérience et leurs conseils pour mener à bien mon Travail de Fin d'Etudes.

Je remercie également l'ensemble des collaborateurs de cette belle entreprise de leur accueil, leur aide et conseil pour la réalisation de cette étude.

Je remercie Monsieur José CALI, mon professeur référent, de sa disponibilité et de ses remarques constructives à mon égard.

Je remercie aussi la société CAPTURE SOLUTION et plus particulièrement Monsieur Romain SOMMERO pour le prêt du BLK-To-Go et pour ses précieux conseils quant à l'utilisation de l'appareil.

Pour finir, je tiens à remercier mes parents, Marie-Noëlle et Pierre AMADIEU, de m'avoir soutenu durant mes études.

Liste des abréviations

MMS : Mobile Mapping System

IMMS : Indoor Mobile Mapping System

LiDAR : Light Detection And Ranging

UAV : Unmanned Aerial Vehicle

ICP : Iterative Closest Points

IMU : Inertial Measurement Unit

SLAM : Simultaneous Localisation And Mapping

SDP : Surface De Plancher

SUB : Surface Utile Brute

EMQ : Ecart Moyen Quadratique

SHO : Surface Hors Œuvre

BIM : Building Information Modeling

Glossaire

MMS : Le MMS, ou système de cartographie mobile, est une plateforme « mobile » terrestre ou aérienne composée de plusieurs capteurs de navigation et de différents capteurs de mesure permettant le géo-référencement des données collectées.

Centrale IMU : Dispositif muni de gyromètres, d'accéléromètres et d'un calculateur qui permet de connaître la position et la vitesse d'un véhicule dans l'espace.

Amer : Points de repère fixes et identifiables sans ambiguïté, permettant à un appareil de se positionner dans son environnement au moyen d'algorithmes.

UAV : Drone ou Unmanned Aerial Vehicle, véhicule volant sans pilote, contrôlé au moyen d'une tablette ou de manière autonome.

Bruit : Perturbations dans un signal.

Dérive : Phénomène de glissement de la position due aux intégrations successives des mesures inertielles et de leur bruit.

Nuage de points : Ensemble de points 3D représentant un objet, une surface ou une forme.

Consolidation : Etapes qui consistent à assembler des nuages de points au moyen de points homologues ou de la reconnaissance de formes.

Format E57 : Format d'échange de fichiers nuages de points.

Géotag : Marqueur qui attribue à un emplacement géographique une photo, une vidéo ou une information quelconque ; des photographies dans le cas du BLK-To-Go.

Albédo : Fraction de l'énergie solaire réfléchi sur un objet par rapport l'énergie solaire incidente.

Lever : Etape durant laquelle l'acquisition de données est effectuée au moyen d'un appareil.

Géoréférencement : Procédé qui consiste à exprimer les coordonnées d'un lever, d'un nuage de points dans un système de coordonnées connu.

Plateau : Niveau d'un bâtiment livré sans cloisons de distribution entre les différentes pièces.

Table des matières

Introduction	7
I ETAT DE L'ART	9
I.1 CARTOGRAPHIE MOBILE.....	9
I.1.1 Principe des scanners dynamiques	9
I.1.1.1 Systèmes IMMS.....	9
I.1.1.2 Matériel et technologie des scanners dynamiques.....	10
I.1.1.3 Algorithmes SLAM.....	10
I.1.1.4 Consolidation nuage à nuage	13
I.2 LOGICIELS ETUDIES.....	14
I.2.1 Cyclone 3DR	14
I.2.2 VisionLidar.....	15
II LE RTC360 ET LE BLK-To-Go.....	16
II.1 PRESENTATION DU RTC360.....	16
II.2 LE BLK-To-Go	17
II.2.1 Caractéristiques techniques	17
II.2.2 Méthodologie de Lever	20
II.2.3 Post-traitement (fichier de sortie, logiciels de traitement des données).....	23
III TESTS ET ANALYSE.....	24
III.1 TESTS EXISTANTS	24
III.1.1 Dans un environnement extérieur.....	24
III.1.1.1 Présentation de l'étude	24
III.1.1.2 Conclusion.....	25
III.1.2 Dans un espace restreint.....	26
III.1.2.1 Présentation de l'étude	26
III.1.2.2 Conclusion.....	27
III.2 CAS D'ETUDE EXPERIMENTAUX.....	28
III.2.1 Les sites d'étude	28
III.2.1.1 Introduction	28
III.2.1.1.1 Sur le terrain.....	28
III.2.1.1.2 Post-traitement.....	29
III.2.1.2 Plateau d'entreprise à Sèvres	30
III.2.1.3 Locaux de Gexpertise.....	30
III.2.1.4 Grand magasin.....	31
III.2.2 Comparaisons des données	32
III.2.2.1 Comparaison nuage à nuage	32
III.2.2.1.1 Plateau d'entreprise à Sèvres	33
III.2.2.1.2 Locaux de Gexpertise.....	34
III.2.2.1.3 Conclusion	38
III.2.2.2 Etude des plans et des nuages.....	39
III.2.2.2.1 Plateau d'entreprise à Sèvres	40
III.2.2.2.2 Locaux de Gexpertise.....	42
III.2.2.2.3 Grand magasin.....	45
III.2.2.2.4 Conclusion	49
III.2.2.3 Comparaison de surfaces.....	50
III.2.2.3.1 Plateau d'entreprise à Sèvres	51
III.2.2.3.2 Grand magasin.....	53
III.2.2.3.3 Conclusion	55
III.3 SYNTHESE DES RESULTATS	56
III.4 CONSTRUCTION DE LA METHODOLOGIE D'UTILISATION DU BLK-To-Go	58
Conclusion.....	59

Bibliographie	61
Table des annexes	64
Annexe 1 Version du Firmware (logiciel interne) du BLK-To-Go utilisé lors des différents tests.....	65
Annexe 2 Extrait du rapport de l'étude du BLK-To-Go dans un espace restreint.	66
Annexe 3 Plan de l'étage 2 du grand magasin.	67
Annexe 4 Coupes dans les nuages de points des différentes solutions dynamiques	68
Annexe 5 Capture d'écran du cheminement réalisé dans l'espace de vente pour le chantier du grand magasin.....	69
Annexe 6 Protocole du BLK-To-Go mis en place après avoir étudié l'appareil et à la suite de nos différents tests.....	73
Liste des figures.....	77
Liste des tableaux	78

Introduction

Le groupe Gexpertise est né de la fusion de cabinets de Géomètres-Experts et compte différentes agences en France (5 agences) et à l'étranger (2 en Tunisie).

Mon stage de fin d'études s'est déroulé à l'agence de Sèvres dans les Hauts de Seine (92), au sein du département Immobilier, spécialisé dans l'ingénierie topographique et foncière, plus particulièrement dans l'équipe du Pôle GeoTop.

Aujourd'hui les cabinets de Géomètres-Experts sont davantage concurrencés sur des projets de levés 3D par des sociétés utilisant des solutions de Mobile Mapping. Les demandes des clients imposent de réduire le temps passé sur le terrain pour réaliser des plans toujours plus rapidement. Il est donc nécessaire de définir une méthodologie d'acquisition la plus efficace possible, qui permette un contrôle de la qualité des nuages par une étude des données réalisées.

A l'heure actuelle, les levés 3D sont réalisés par Gexpertise à l'aide de scanners statiques. Suite à l'acquisition du scanner RTC360 et du logiciel REGISTER 360, Gexpertise a réduit les temps de lever et de traitement. Cependant, ceux-ci restent supérieurs à ceux des solutions Mobile Mapping.

L'équipe du Pôle GeoTop de Gexpertise, souhaite mettre en place une méthodologie de lever en Mobile Mapping, sur le terrain et en agence, pour réaliser des plans avec une précision correspondant au besoin du client.

Le Mobile Mapping a connu une avancée très intéressante et spectaculaire avec l'arrivée du BLK-To-Go. Le défaut principal des solutions en Mobile Mapping « traditionnel » reste une dérive peu maîtrisable et un bruit conséquent, en particulier sur la modélisation d'éléments. Ces défauts pourraient être corrigés par le BLK-To-Go qui se base sur la méthode du nuage à nuage. L'enjeu de ce projet sera de déterminer si le BLK-To-Go fournit une solution Mobile Mapping suffisamment précise et efficace pour permettre de combiner vitesse de lever et précision de la mesure.

Pour atteindre cet objectif, mon travail sera organisé de la manière suivante :

- Dans un premier temps, faire un état de l'art, des technologies existantes permettant le lever dynamique, et ce qui distingue un lever dynamique d'un lever statique.
- Dans un second temps, je présenterai le RTC360, le scanner dynamique utilisé comme référence dans les comparaisons et les caractéristiques techniques du BLK-To-Go et son utilisation sur le terrain.
- Dans un dernier temps, je recenserai les études existantes portant sur le BLK-To-Go. Puis je présenterai mes traitements avec l'appareil sur trois chantiers typiques de ceux visés par Gexpertise, pour l'utilisation de l'appareil. Je comparerai le BLK-To-Go et d'autres solutions dynamiques aux données de référence (scanner statique et plans) et exposerai les atouts et les inconvénients de ces solutions pour les besoins de l'entreprise.

I Etat de l'art

I.1 Cartographie mobile

I.1.1 Principe des scanners dynamiques

Aujourd'hui, l'utilisation de la technologie des scanners dynamiques se démocratise fortement. Ces outils présentent de nombreux avantages pour les entreprises de topographes et de géomètres, par une rapidité d'exécution et une simplicité d'utilisation pour un rendu qui se rapproche de celui des scanners statiques, voire aussi fiable que certains.

I.1.1.1 Systèmes IMMS

Les scanners 3D dynamiques font partie de la catégorie IMMS, appartenant elle-même à l'écosystème plus large des MMS [1].

Les systèmes MMS sont composés de différents types de capteurs embarqués dans un véhicule (drone, voiture, train, ...) et dont les fonctions sont multiples et complémentaires via des algorithmes complexes, pour réaliser le lever d'un ensemble. Les systèmes embarqués sont :

- Des capteurs LiDAR permettant de lever l'ensemble extérieur environnant, et selon les besoins, d'avoir des éléments de détails (cibles pour le géoréférencement du nuage, bâtiments, infrastructures). Ces capteurs offrent un rendu sous la forme d'un nuage de points en trois dimensions ;
- Des caméras qui permettent la colorisation des nuages de points ainsi que la réalisation d'images panoramiques ;
- Un récepteur GNSS pour le positionnement du système ;
- Une IMU pour la mesure en temps réel des lacets roulis tangages de la position et d'un vecteur vitesse. Toutes ces données sont mesurées à l'aide de capteurs de navigation (3 gyromètres et 3 accéléromètres) ;
- Un odomètre externe pour la mesure de distance et pour compléter les informations sur la trajectoire [2].

Les MMS sont utilisés pour cartographier des éléments extérieurs. Ils possèdent une longue portée car ils sont composés de nombreux capteurs embarqués et éléments permettant de traiter les données sur le terrain. Mais de ce fait, ils sont lourds.

Les IMMS, quant à eux, sont beaucoup plus compacts et plus légers. Ils sont utilisés principalement pour la cartographie d'intérieur, car ils ne possèdent pas de récepteurs GNSS, mais utilisent la technologie de localisation par cartographie simultanée (SLAM). Cette technologie nécessite des capteurs tels que les LiDAR ou des caméras, combinés à des algorithmes permettant le positionnement de l'appareil dans son environnement.

I.1.1.2 Matériel et technologie des scanners dynamiques

Quel que soit l'outil de lever, une notion importante est prise en compte dans les entreprises, c'est le « temps-terrain » et le « temps-bureau ». Pour les scanners statiques, nous avons un temps terrain diminué par rapport aux méthodes traditionnelles (tachéomètre, distancemètre). Les scanners dynamiques se veulent être encore plus rapides que les statiques et diminuer ce « temps-terrain », avec un « temps-bureau » équivalent. Cette rapidité est due à la combinaison de capteurs et d'outils complémentaires (chacun ayant une fonction précise), avec des algorithmes complexes les faisant fonctionner simultanément.

Ne possédant pas de GPS, les scanners dynamiques (GeoSLAM, BLK-To-Go, NavVis VLX et M6, etc.) ont besoin de se positionner dans leur environnement. Pour cela il existe un algorithme qui s'appelle le SLAM (localisation par cartographie simplifiée), qui a été conçu pour la robotique il y a une trentaine d'années. Le principe de fonctionnement est de construire un modèle de l'environnement à l'aide des différents capteurs et décrire l'état de l'appareil (position et orientation). Ils peuvent acquérir également d'autres données, comme, par exemple, la vitesse de déplacement dans cet environnement. Ceci par un processus itératif qui se base sur les positions précédentes pour affiner la position suivante, tout au long du lever [3].

I.1.1.3 Algorithmes SLAM

Le principe de l'algorithme SLAM consiste pour un robot ou un système, dans un environnement inexploré, à construire une carte cohérente de cet environnement et

simultanément déterminer sa position dans cette carte. Cette carte est construite à l'aide d'amers. Ces amers permettent à l'algorithme d'être plus robuste et d'appliquer les corrections des capteurs embarqués et ainsi limitent la dérive de l'appareil.

La réalisation de quatre étapes itératives est nécessaire à la localisation d'un système utilisant cet algorithme :

- Phase initiale (a) (Figure 1) : le système estime sa position (robot rouge) dans une carte reconstruite de son environnement (triangles rouges) à l'instant $k-1$. Tous ces éléments sont évalués avec une incertitude (ellipses rouges) due aux bruits sur les mesures. Leur position réelle est représentée en gris.
- Phase prédictive (b), le véhicule se déplace (Figure 2) : il prédit sa nouvelle position ainsi que celle des amers en fonction des données fournies par ses capteurs (éléments bleus). Comme ces mesures sont entachées de bruits, l'incertitude sur la position du véhicule augmente (ellipses bleues).
- Phase d'acquisition et d'association (c) (Figure 3) : une carte locale de l'environnement (éléments verts) est construite à partir des données mesurées. Après la mise en correspondance de cette carte mesurée à l'instant k et de la carte prédite (éléments bleus), le système calcule la valeur de la correction à apporter aux estimations. Il détermine également les amers mesurés non présents sur la carte estimée.
- Phase d'estimation (d) (Figure 4) : la correction précédente est intégrée par le système afin de fournir une estimation plus précise de la position du véhicule et des amers. Cette mise à jour permet une réduction de l'incertitude sur les positions estimées des éléments de la carte. Les nouveaux éléments détectés lors de l'étape (c) sont ensuite ajoutés dans la carte estimée.

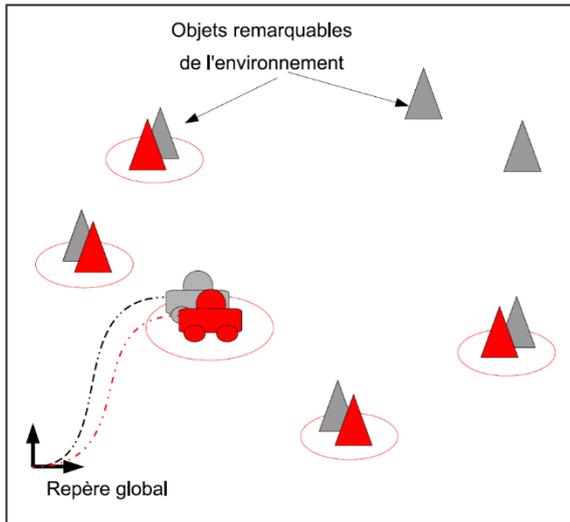


Figure 1 : SLAM phase initiale (a). Source [4]

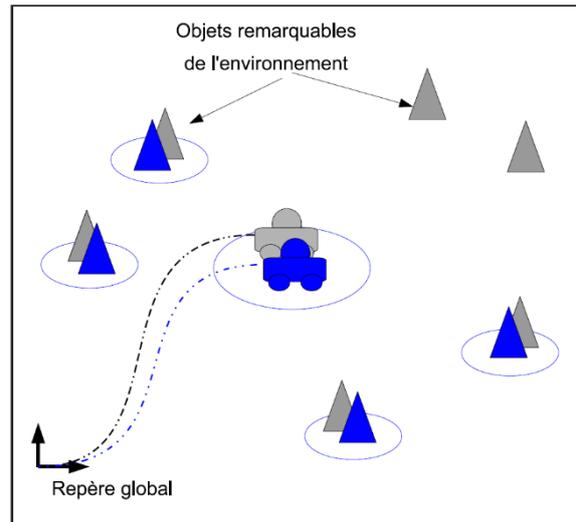


Figure 2 : SLAM phase prédictive (b). Source [4]

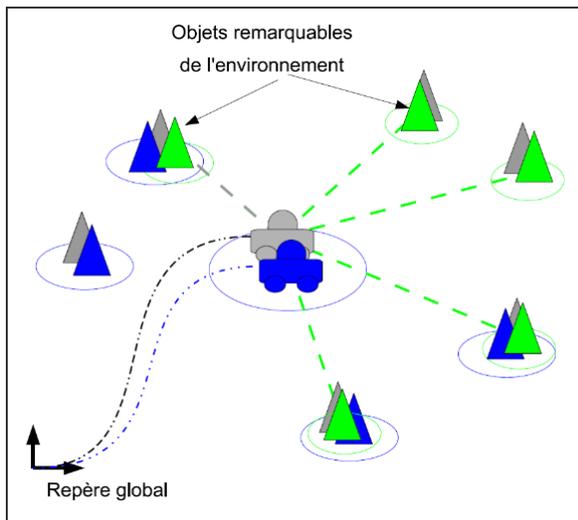


Figure 3 : SLAM phase d'acquisition et d'association (c). Source [4]

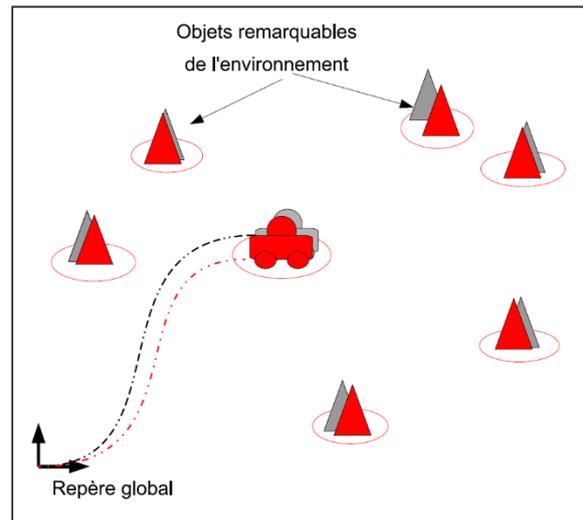


Figure 4 : SLAM phase d'estimation (d). Source [4]

Après ce processus itératif, le nuage de points est recréé sur la base d'une nouvelle estimation qui a été corrigée et lissée de la trajectoire, et ceci jusqu'à la fin du lever. Pour encore optimiser la trajectoire et contraindre notre nuage, des boucles intermédiaires et un cheminement de lever fermé sont nécessaires. Cette opération permet d'avoir des éléments identiques permettant au système de compenser les erreurs et de limiter la dérive de la centrale IMU et d'autres capteurs, en appliquant des algorithmes correctifs [4].

I.1.1.4 Consolidation nuage à nuage

La consolidation nuage à nuage va être utile pour ajouter une contrainte au nuage de points du BLK-To-Go. En effet, il s'agira sur le terrain, de mettre en place un protocole permettant d'obtenir différents nuages équivalents à des partitions du chantier, pour assembler ces derniers en post-traitement. Cette méthode permettra de vérifier si la consolidation nuage à nuage est une aide aux levés dynamiques et si cette méthode permet d'obtenir un rendu conforme à nos références.

Le recalage 3D à 3D (aussi appelé mise en correspondance optimale entre deux ou plusieurs balayages, dont les positions dans l'espace sont aléatoires) est une étape importante qui doit être réalisée avant tout autre étape de modélisation.

A l'aide des algorithmes de correction et en fonction de la précision des appareils, on néglige les erreurs systématiques liées à l'instrument en lui-même (déformations internes du nuage non prises en compte), ce qui revient à calculer une « transformation rigide » entre les deux nuages pour la consolidation. La transformation rigide est définie par une rotation et une translation 3D.

Au début de l'ère des scanners, la consolidation s'effectuait en sélectionnant des points dans les nuages sur des cibles, préalablement positionnées dans l'environnement, avant les balayages.

Aujourd'hui des algorithmes permettent d'assembler les nuages de manière visuelle, en utilisant d'autres procédés qui se substituent à la méthode d'utilisation de cibles pour la consolidation. Les algorithmes ICP sont des algorithmes itératifs utilisés par les logiciels pour consolider deux modèles numériques.

L'algorithme calcule la distance minimale entre un point et un ensemble de points. Dans le cas de REGISTER 360 (logiciel utilisé pour la consolidation de nos balayages), la densité de points varie selon la taille du nuage et allant jusqu'à 1000 points pour les nuages les plus importants, cette valeur peut être modifiée dans les paramètres. Cette opération se réalise pour un certain nombre de points, et à partir de ces points les paramètres de rotation et de translation sont obtenus.

L'inconvénient de la distance minimale entre deux points est qu'elle converge vers un faux minimum dans certains cas. Le bruit peut en être une cause ou le nombre d'itération fixe peut également faire converger vers un minimum local. Plusieurs solutions sont mises en œuvre pour pallier ces problèmes. Comme par exemple, remplacer la distance entre les

points par la distance entre un point et un plan tangentiel (qui intègre les normales d'une des deux surfaces dans l'équation qui calcule la transformation rigide). Dans le cas de REGISTER 360, on utilise le plan d'incidence par rapport à la normale comme filtre sélectif pour que des points de meilleure qualité ou valides soient utilisés dans la consolidation nuage à nuage [5].

Différents travaux, présentés dans la suite de l'ouvrage, ont mis en place des méthodes permettant d'avoir une convergence rapide et un affinement de l'alignement [6].

Aujourd'hui la consolidation nuage à nuage utilise plus de données que la consolidation cible à cible. Cette consolidation des nuages de points est automatisée, réduisant l'intervention humaine, gagnant ainsi en rapidité et en précision.

I.2 Logiciels étudiés

Une partie de l'étude s'est portée sur l'intégration d'un nouveau logiciel de traitement de nuage de points dans la chaîne de production, en vue de l'automatisation du nettoyage de nuage de points.

Une première réflexion s'est faite par « benchmark » des différents logiciels de nettoyage des nuages de points présents sur le marché. Ce benchmark consistait à noter les performances et les capacités de chaque logiciel capable de nettoyer les nuages de points.

Après cette première étape, les logiciels suivants ont été retenus : « Cyclone 3DR » de Leica Geosystems et « VisionLidar » de Geo-Plus.

I.2.1 Cyclone 3DR

Cyclone 3DR, anciennement 3D Reshaper, est un logiciel qui a été conçu par Leica Geosystems. Il traite facilement les données des appareils Leica, mais également les nuages de points issus d'appareils d'autres marques. Il permet de manipuler et d'effectuer toutes les opérations sur des nuages de points (changement de repère de coordonnées, maillage, découpage, texturation, comparaisons, segmentation, etc..). Les outils qui seront intégrés dans une chaîne de production sont les outils de nettoyage de segmentation.

Ces outils ont été utilisés pour extraire du nuage une façade, supprimer les points parasites générés par les fenêtres et les miroirs, extraire d'un bâtiment les murs et plafonds après avoir supprimé le mobilier à l'intérieur.

Les nombreux tests réalisés sur différents types de nuages (en intérieur et en extérieur) n'ont pas été concluants car ils n'ont pas répondu à nos attentes : en effet, l'automatisation supprimait trop de points ou ne détectait pas les bons éléments.

I.2.2 VisionLidar

VisionLidar est un logiciel conçu par Geo-Plus qui est adapté au traitement de tous types de nuages issus d'appareils de différentes marques.

Ce logiciel permet, de traiter des nuages de points issus de solutions dynamiques, adapté pour traiter les données issues de scanners embarqués sur des voitures. Cet outil détecte facilement les éléments de route (rambarde, chaussée, végétation, véhicules en mouvement, poteaux électriques ...). Mais il n'a pas été créé pour traiter les levés d'intérieurs avec un nettoyage automatique de certains éléments du nuage de points. Ce logiciel est plus adapté pour les environnements extérieurs que pour les espaces intérieurs restreints.

Les tests avec ce logiciel n'ont pas répondu à nos attentes en termes d'intégration d'une étape à notre chaîne de production, pour la réalisation de dossiers professionnels.

II Le RTC360 et le BLK-To-Go

II.1 Présentation du RTC360

Pour notre étude, la solution choisie comme référence est le scanner statique de Leica, le RTC360. C'est le scanner le plus utilisé chez Gexpertise, pour tous les types de chantiers aussi bien en extérieur qu'en intérieur.

Pour les chantiers en intérieur, la résolution utilisée est la résolution moyenne de l'appareil, ce qui correspond à 6 millimètres à 10 mètres de distance. Pour les chantiers en extérieur, la résolution utilisée correspond à la haute résolution, soit 3 millimètres à 10 mètres de distance. La précision des points 3D pour un Albedo à 87%, est de 1,9 millimètres à 10 mètres de distance [7]. Ces précisions sont retenues par Gexpertise par souci de taille de la donnée, car l'appareil relève 2 millions de points à la seconde, ce qui correspond à la précision demandée par les clients.

Le bruit de la mesure des nuages levés par cet appareil n'excède pas 1 centimètre.

Au sein de Gexpertise ce scanner est utilisé pour réaliser tous types de plans au 1/100^{ième}, au 1/50^{ième} et pour de la modélisation 3D. C'est pour cette raison qu'il sera utilisé comme méthode de référence pour nos comparaisons.

II.2 Le BLK-To-Go

II.2.1 Caractéristiques techniques



Avec le développement du BIM, les maquettes numériques, les modèles 3D et les premiers scanners dynamiques, Leica Geosystems, entreprise Suisse a commercialisé en décembre 2019 son premier scanner dynamique IMMS, le BLK-To-Go. Cet appareil répond ainsi aux besoins des différentes entreprises pour la création de modèles et apporte des innovations aux solutions dynamiques préexistantes (Figure 5).

Figure 5 : BLK-To-Go sur sa base et le téléphone pour la visualisation du nuage. Source N. Amadiou

L'appareil est issu du fruit d'une longue évolution de la technologie 3D et d'outils permettant ces leviers. Les chantiers visés sont principalement les leviers d'intérieur pour la réalisation de plans et même de maquettes numériques, avec quelques adaptations pour des environnements extérieurs. Ce scanner répond aux besoins des professionnels car il est réellement intuitif et facile d'utilisation [8].

La version de l'appareil avec lequel nous avons travaillé est disponible en annexe 1. Les caractéristiques de l'appareil annoncées par le constructeur sont les suivantes :

- Les dimensions du scanner sont de 28 centimètres de haut avec 8 centimètres en diamètre, ce qui fait de lui un petit objet facile à prendre en main et maniable. Son faible poids (775 g) permet de le manipuler toute une journée et à bout de bras. Grâce à sa petite mallette, il est facilement transportable sur les chantiers. Il possède aussi un bandeau LED qui change de couleurs selon les états de l'appareil

(initialisation, lever, photo, démarrage, erreurs, etc.) ce qui facilite son utilisation ;

- Comme seul équipement sur le terrain, il suffit du scanner et d'un téléphone possédant l'application « BLK-To-Go live app » disponible sur Android et IOS. Ce dernier communique avec le BLK-To-Go en connexion WIFI et permet de visualiser l'environnement balayé, se construisant en temps réel ainsi que la trajectoire effectuée (Figure 6) ;

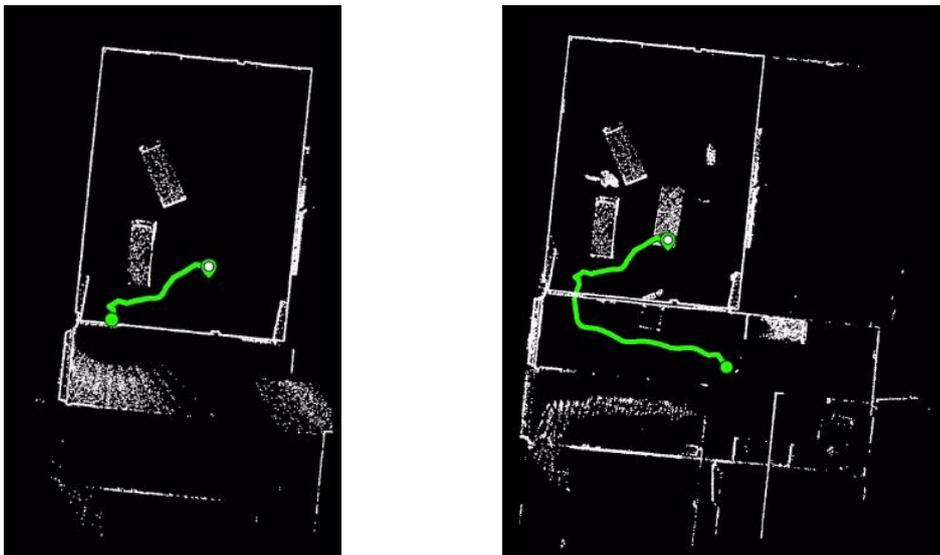


Figure 6 : Captures d'écran du téléphone permettant la visualisation du nuage en temps réel sur le terrain. Source N. Amadiou

- Cet appareil est fourni avec 3 batteries Li-ion qui possèdent chacune une autonomie de 45-50 minutes de lever ;
- Il possède une capacité de stockage de 6 heures de levers de données que l'on peut augmenter à 24 heures en compressant les images ;
- Pour les capteurs, il possède un LiDAR double axe et des caméras.
 - o Le LiDAR double axe possède une longueur d'onde de 830 nm. Il est de classe 1 (laser sans danger lors de la vision direct du faisceau pour une longue période). Son champ de vision est de 360 degrés en horizontal et 270 degrés en vertical avec une portée allant de 0,5 mètre à 25 mètres. Ce qui permet une vitesse de balayage de 420 000 points par seconde.

Le principe du LiDAR double axe est que ce dernier effectue deux révolutions pleines en une seconde. Il s'agit d'une conception coaxiale c'est-à-dire que le faisceau part et revient ainsi au même point.

- Il possède une caméra haute résolution de 12 Mégapixels, 90°x120° avec un obturateur déroulant, située à l'avant pour la prise de photos à la demande et générer des géotags durant le lever. Il possède aussi un système de vision panoramique grâce à 3 caméras de 4,8 Mégapixels, 300°x135° avec un obturateur global, permettant la colorisation du nuage et le fonctionnement du « GRANDSLAM ».

La robustesse des algorithmes SLAM combinés aux capteurs permet d'avoir une précision relative allant de 6 à 15 millimètres (pour un Albedo de 78%) selon le type d'environnement balayé. La précision est de 20 millimètres en position absolue lors des levers d'intérieur, toujours avec un Albedo à 78% et pour une durée de numérisation de 2 minutes. Tous les nuages de points résultant d'un lever avec cet appareil, ont un bruit de 2 centimètres [9].

Les caractéristiques de l'appareil font de lui un appareil conçu spécialement pour les levers d'intérieur. Il peut aussi être utilisé pour les levers en extérieur, mais avec un potentiel limité.

Les principaux avantages d'un scanner dynamique sur un scanner statique sont :

- Flexibilité au niveau des mouvements : il permet de circuler où on le souhaite, de mesurer de manière simple et aisée ; si un élément a été oublié, il suffit de rebalayer l'élément manquant ;
- Plus rapide mais avec moins de précisions (nuage moins dense et images de moins bonne qualité) ;
- Visualisation en temps réel du nuage sur le téléphone et possibilité de manipuler le nuage pour le visualiser [10].

II.2.2 Méthodologie de Lever

L'appareil a été conçu et adapté pour réaliser certains types de chantiers comme les levers d'intérieur, dans des souterrains, de stocks et d'espaces forestiers. [11]

Cette étude va se focaliser sur l'utilisation de l'appareil, pour les levers d'intérieur dans différentes configurations (bureaux, locaux d'entreprise et grand magasin).

Pour mettre en place un protocole expérimental correspondant aux différentes configurations, les préconisations du constructeur ont été étudiées, pour pouvoir mettre à l'épreuve les technologies et les algorithmes de l'appareil.

Il existe des études portant sur d'autres scanners dynamiques qui utilisent des technologies identiques. L'entreprise NavVis présente dans leurs études détaillées, les protocoles de lever et de comparaison de données. Ces protocoles se rapprochent des préconisations données par les commerciaux de Leica, car les technologies sont similaires. De plus ces études nous présentent bien l'exactitude des levers avec les problèmes rencontrés lors du lever, les précisions et les analyses des données [12], [13], [14], [15].

Après collecte et étude de toutes ces informations, le protocole mis en place pour évaluer l'appareil est, pour chaque chantier, d'effectuer deux passages de deux manières différentes.

Pour les scanners dynamiques, beaucoup d'erreurs de modélisation viennent de la centrale IMU et des autres capteurs ; les algorithmes sont aussi source d'erreurs, même si leur rôle est de corriger ces erreurs et rendre la modélisation conforme à la réalité. Les deux passages permettent de mettre à l'épreuve ces algorithmes correctifs tout en recherchant un protocole de lever permettant d'utiliser au mieux l'appareil, à son plein potentiel. Pour évaluer de manière identique ces deux passages, les trajets seront effectués sur la même trajectoire.

Pour le premier passage une seule session de balayage sera effectuée, c'est-à-dire que le lever sera stoppé seulement quand la boucle du cheminement global sera terminée. Ce type de lever en une seule session nécessite des boucles intermédiaires pour que l'appareil puisse compenser les erreurs pendant le lever, en ayant des zones de recouvrement. Cette méthode de lever est celle utilisée par les scanners dynamiques pour modéliser un ensemble.

Le deuxième passage sera réalisé en effectuant plusieurs sessions de balayage. Le principe est de balayer chaque pièce en différentes sessions de lever, en utilisant les couloirs entre chaque pièce comme zone de recouvrement. Cette méthode se rapproche de la méthode d'un scanner statique avec des zones de recouvrement entre les différentes sessions de balayage, afin d'assembler ces dernières en post-traitement. Mais la réalisation de sessions courtes peut poser des problèmes au niveau de la centrale IMU : cela peut l'empêcher de s'initialiser, c'est un paramètre à prendre en compte et à évaluer lors de analyses.

L'entreprise ne possédant pas l'appareil, ce dernier a été loué pour une semaine. Lors de la récupération de l'appareil, ce dernier a été testé dans leurs locaux avec une formation rapide de la part d'une personne ayant déjà utilisé cet appareil, expliquant son fonctionnement et donnant des recommandations techniques pour notre future utilisation. Les entretiens avec les commerciaux de Leica et des professionnels ayant déjà utilisé l'appareil, ont permis d'avoir une première prise en main. En rassemblant toutes les informations recueillies, l'appareil fonctionne de la sorte :

- Toute session commence par la phase d'initialisation qui consiste au démarrage de l'appareil et de ses capteurs. Cette étape est obligatoire, car si elle est négligée, des erreurs risquent de se propager pendant toute la durée de notre session ;
- Les algorithmes SLAM permettent à l'appareil de se localiser dans son environnement, ce qui est essentiel pour que ce dernier relève son environnement. Leica a mis au point une technologie similaire et réputée plus fiable, c'est le « GRANDSLAM ». Cette technologie combine SLAM visuel (caméras panoramiques) et SLAM LiDAR [16].



LiDAR SLAM active now

Insufficient features for Visual SLAM

Figure 7 : Capture d'écran du téléphone indiquant le changement de SLAM. Source N. Amadieu

- Pour un lever, les deux SLAM ne fonctionnent pas simultanément : dès l'initialisation de l'appareil le SLAM visuel est utilisé car il est dit plus robuste que le SLAM LiDAR. Le fonctionnement est le même, mais le SLAM visuel détecte les tâches d'ombre et les différentes couleurs ce qui apporte plus d'éléments (amers) dans le calcul de la position de ce dernier (Figure 8-9). Durant le lever lorsqu'il y a un changement de luminosité (ou passage dans un

environnement étroit avec une faible luminosité), le scanner fonctionne alors en SLAM LiDAR. Cet outil adapte donc son SLAM automatiquement en fonction des différentes situations pour continuer à se positionner au mieux dans son environnement quelle que soit la situation (Figure 7).

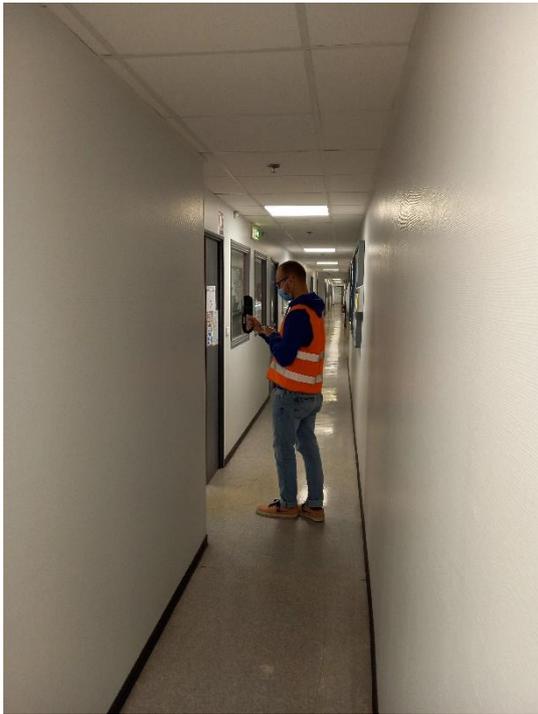


Figure 8 : Photographie d'un environnement neutre, le SLAM visuel est plus robuste que le SLAM LiDAR.
Source N. Amadiou



Figure 9 : Photographie d'un environnement complexe, le SLAM visuel est aussi, voire plus, robuste que le SLAM LiDAR. Source N. Amadiou

Après avoir étudié les préconisations du constructeur, l'avis de professionnels l'ayant déjà utilisé et en connaissant le principe, cet appareil semble être une bonne réponse dynamique pour les levés d'intérieur, mais pas la « solution miracle ». Bien qu'il soit adapté à certains chantiers en extérieur son utilisation reste tout de même limitée pour ces derniers. Notre expérimentation avec cet appareil va se porter principalement sur les chantiers en intérieur car ce sont les missions ciblées par Gexpertise.

II.2.3 Post-traitement (fichier de sortie, logiciels de traitement des données)

Malgré l'utilisation d'un téléphone, toutes les données sont stockées dans le scanner. Pour les traiter, il suffit alors de les extraire vers un ordinateur possédant les logiciels de traitement.

Les données de l'appareil BLK-To-Go sont au format « .b2g ». Les données au format « .b2g » contiennent le nuage de points, les images panoramiques, la trajectoire de l'appareil et les Géotags.

Pour extraire les données de l'appareil, on utilise le logiciel « BLK Data Manager » dont c'est la seule fonctionnalité.

« REGISTER 360 », logiciel constructeur, est le seul pouvant lire les données issues du BLK-To-Go. Pour ce logiciel, les étapes de lecture d'un fichier au format « .b2g » sont : le calcul de la trajectoire, la lecture des points et des images et la création des points de passage. Après ces différentes étapes notre nuage de points est compensé grâce à la trajectoire, colorisé grâce aux images panoramiques. Le nuage du BLK-To-Go peut être complété et assemblé avec un nuage de points issu d'un autre appareil Leica, comme le RTC360, BLK 360, etc ...

III Tests et analyse

Un travail de recherche bibliographique sur ces appareils dynamiques a été réalisé en amont de nos essais. Dans cette partie, il s'agira de présenter d'abord les publications concernant des essais avec le BLK-To-Go puis les travaux réalisés avec le BLK-To-Go au sein de Gexpertise et la comparaison de ce scanner avec d'autres solutions dynamiques.

III.1 Tests existants

Très peu d'études concernant l'utilisation du BLK-To-Go sont disponibles, car c'est un appareil mis récemment sur le marché par Leica Geosystems, en décembre 2019. Il a, en outre, subi des améliorations depuis cette date. Deux études vont être présentées par la suite :

- La première étude, présente l'utilisation de l'appareil dans un environnement forestier aux abords de monuments archéologiques, utilisant une version antérieure de l'appareil [17].
- La deuxième étude, présente l'utilisation de l'appareil dans un environnement restreint à l'intérieur, utilisant une version récente de l'appareil [18].

L'ancienne version du BLK-To-Go (version initiale) ne possédait pas la technologie « GRANSSLAM ». Il est tout de même intéressant de se pencher sur la première étude pour connaître les problèmes rencontrés et les méthodes de comparaison utilisées. Dans sa version actuelle, l'appareil possède les caméras panoramiques et les éléments présentés précédemment.

D'autres informations sont fournies par Leica Geosystems mais sont plus des retours sur expériences et une présentation des projets réalisés en interne, sans précision sur les méthodes d'acquisition, ni sur les techniques de traitement, ni les problèmes rencontrés ou encore les précisions obtenues [19].

III.1.1 Dans un environnement extérieur

III.1.1.1 Présentation de l'étude

L'étude consistait à mesurer les déformations et les mouvements de terrain, aux abords d'une zone archéologique en pleine forêt. Un lever terrestre dit « classique » avec des

scanners statiques ou autres solutions terrestres, était trop lourd à mettre en œuvre. C'est pourquoi un lever par drone UAV équipé d'un LiDAR a été utilisé, complété par un lever terrestre qui devait être facile à mettre en œuvre vu la configuration du terrain.

Pour le lever terrestre, le BLK-To-Go, à l'époque dans sa première version (sans caméra panoramique), a été utilisé car c'était une solution récente et facile à mettre en œuvre, et ce type d'environnement a permis de le mettre à l'épreuve. Pour ce lever terrestre ce sont les abords de la structure qui devaient être balayés. Au préalable, il a fallu une phase de reconnaissance avec nettoyage de la végétation présente sur les murs.

Une réflexion a été conduite sur le cheminement pour avoir suffisamment de zones de recouvrement entre les longues sessions de balayage. Il a été décidé une mise en œuvre par des cheminements longs avec des boucles intermédiaires mais pas de bouclage général. Les sessions sont réalisées en antennes. Entre les différentes sessions de balayage, des zones de recouvrement ont été nécessaires pour minimiser les erreurs et pour assembler les données.

Cette solution terrestre a permis d'affiner l'échelle du plan issu du lever par drone et pouvoir atteindre une échelle au 1/200^{ième} plutôt qu'au 1/500^{ième}.

REGISTER 360 a été utilisé pour traiter les données du BLK-To-Go et LIDAR 360 pour celles du drone. Les points homologues se situent sur l'une des façade, l'erreur moyenne d'alignement sur ces points est d'environ 2,4 centimètres. Cet écart a été obtenu en finissant le chemin de lever par la façade qui a été balayée à la première et à la dernière session. L'alignement n'a pas pu être amélioré avec les procédures ICP car le bruit dû à la végétation était trop important et la dérive au niveau des façades a empêché l'amélioration de cet alignement manuel.

Le lever du drone (UAV) a permis d'émettre des hypothèses sur la forme générale de la structure, alors que le lever terrestre grâce au BLK-To-Go a permis, depuis le sol et en fonction de la topographie, de corriger le lever de la structure du bâtiment et de confirmer ou non les hypothèses émises suite au lever aérien.

III.1.1.2 Conclusion

Dans des conditions de végétation dense, pour l'étude d'anomalies de terrassement et pour le lever d'éléments physiques, des technologies et techniques complémentaires ont

été utilisées. Le lever extensif avec un UAV-LiDAR a fourni des informations sur l'organisation générale de la zone, mais ce lever nécessitait tout de même un approfondissement à l'aide d'une solution terrestre.

Dans cette étude le BLK-To-Go a été la solution terrestre choisie, grâce à sa facilité de mise en œuvre sur le terrain et sa rapidité d'exécution. Ce lever a permis de produire, notamment dans les zones presque impénétrables au LiDAR, le lien entre les bâtiments et les déformations du sol. L'étude montre également que dans des zones peu étendues et dans une condition de végétation dense, l'étude d'anomalies archéologiques avec des outils terrestres (BLK-To-Go) plutôt que des outils aériens (UAV-LiDAR), était bien plus efficace, mais donne moins d'informations sur l'aspect global du site. Ces méthodes terrestres offrent une plus grande densité de points (60 fois plus grande) et permet de générer un MNT plus précis. L'avantage d'avoir choisi le BLK-To-Go est que nous avons notre nuage colorisé, très pratique pour des études de types archéologiques. Dans ce type d'environnement, le BLK-To-Go a permis d'affiner le lever du drone et ainsi obtenir une échelle pour le plan pouvant aller jusqu'au 1/200^{ième}, l'environnement du chantier ne permettant pas d'obtenir une plus grande échelle.

III.1.2 Dans un espace restreint

III.1.2.1 Présentation de l'étude

Dans cette seconde étude, deux solutions dynamiques ont été étudiées dans un espace dit « restreint », à l'intérieur d'un bâtiment, la première utilisant le BLK-To-Go et l'autre avec le Matterport Pro2 3D (MC250). Nous allons présenter seulement les résultats avec le BLK-To-Go car le Matterport est une solution dynamique photogrammétrique, au fonctionnement bien différent du BLK-To-Go.

Le choix s'est porté sur un système dynamique car c'est un système adapté et conçu pour ce type d'espace : la donnée y est moins dense qu'avec des systèmes statiques et le lever plus rapide qu'avec les méthodes traditionnelles (distancemètre et tachéomètre) ou même le scanner statique. C'est la dernière version encore actuelle du BLK-To-Go qui a été utilisée, comprenant les caméras pour la vue panoramique et l'algorithme GRANDSLAM.

Pour l'acquisition des données, la surface est d'environ 600 mètres carrés, constituée essentiellement d'un couloir de 100 mètres avec des virages et une salle composée de lignes

de base qui permettront de contrôler la précision des nuages. Des cibles, mesurées au tachéomètre, ont été placées et balayées pour géoréférencer notre travail et pour contrôler les écarts de la position des cibles dans le nuage.

Une première visite des lieux a été effectuée pour déterminer le cheminement et les boucles à effectuer ainsi que la vitesse de marche pour atteindre le niveau de détail souhaité. Après cette visite le lever au BLK-To-Go a été réalisé en 15 minutes.

La vérité terrain correspond aux lignes de base de la salle d'étalonnage, qui seront contrôlées avec celles mesurées dans les nuages de points.

Pour les données résultantes de ces levers, le géoréférencement n'a pas fonctionné, ce qui a empêché de contrôler les coordonnées des cibles.

Pour valider les données, les distances connues de la salle de base ont été utilisées comme références, en particulier les distances entre piliers, les moyennes des écarts entre la référence et les mesures effectuées par le BLK-To-Go varient de 8 à 20 mm (Annexe 2). Ces écarts importants et l'étude visuelle des nuages, montrent bien que l'appareil rencontre des difficultés pour mesurer la géométrie des objets à cause de son LiDAR mesurant des points épars.

La deuxième comparaison s'est portée sur la qualité métrique globale des nuages, basée sur la répétabilité des mesures. Deux chemins ont été effectués, une trajectoire longue et une trajectoire plus courte, la trajectoire longue a produit des « doubles surfaces » preuve qu'effectuer des boucles longues est à l'origine de certaines erreurs, alors que produire des boucles courtes limite ces erreurs.

III.1.2.2 Conclusion

En conclusion de cette étude, à l'aide des données de référence (vérité terrain) et de la facilité de la répétabilité de la prise de mesure, il peut être affirmé que les données issues du BLK-To-Go peuvent produire des plans au 1/100^{ième} et 1/200^{ième}. Pour l'échelle au 1/50^{ième}, la technologie SLAM n'est pas encore adaptée ni assez précise. Les solutions statiques ou les levers tachéométriques restent les outils permettant de réaliser ces plans précis. Le BLK-To-Go n'est donc pas l'appareil le plus adapté pour déterminer la géométrie d'objets.

III.2 Cas d'étude expérimentaux

L'objectif est de savoir sur quels types de chantiers Gexpertise pourrait utiliser la solution dynamique BLK-To-Go et quel protocole devrait être mis en œuvre sur ces chantiers. Il faudra principalement évaluer la précision du BLK-To-Go dans ces essais, selon les protocoles présentés précédemment. D'autres solutions dynamiques vont être aussi étudiées. Les chantiers choisis, car correspondant à ceux ciblés par Gexpertise pour l'utilisation de cet appareil, sont :

- Dans un plateau d'entreprise avec les cloisons de bureaux anciennement utilisées encore en place ;
- Dans les locaux de Gexpertise ;
- Dans un grand magasin.

Par des analyses et comparaisons de données, il s'agira de montrer pourquoi l'appareil est adapté ou non aux chantiers étudiés.

III.2.1 Les sites d'étude

III.2.1.1 Introduction

Dans chacun des sites, le même protocole expérimental sera mis en place, afin d'évaluer les données de la même manière et de pouvoir les comparer. Le protocole retenu est basé sur les préconisations constructeurs, sur les conseils donnés par les professionnels utilisateurs et sur les études existantes [16], [17], [18].

Pour l'analyse, les données issues du BLK-To-Go seront comparées à celles de référence sur chaque chantier. Comme référence, nous avons utilisé le scanner statique RTC360 de Leica et des plans d'intérieurs réalisés à l'aide des méthodes traditionnelles de lever utilisant un tachéomètre et un distancemètre.

III.2.1.1.1 Sur le terrain

Pour chacun des chantiers, la phase terrain s'est déroulée selon le même protocole.

Une première visite du site pour reconnaître les lieux, observer les détails du bâtiment et vérifier les éléments importants et caractéristiques sur lesquelles s'attarder durant notre lever. Cette visite permet aussi de réfléchir au cheminement à suivre avec le BLK-To-Go,

aux boucles intermédiaires et le parcours à réaliser pour faire un cheminement en boucle fermée. Il faut aussi réfléchir au cheminement pour le scanner statique.

Après ce tour de reconnaissance, le lever des locaux est réalisé. Pour cette étape, deux passages du BLK-To-Go sont effectués. Pour la phase de lever, l'appareil est tenu dans une main et dans l'autre le smartphone. Ce dernier est utilisé pour vérifier le cheminement fermé et si rien n'a été oublié.

A noter concernant le « temps terrain » : pour un chemin équivalent, le gain est d'environ 7 fois moins de temps pour le BLK-To-Go en comparaison de la solution statique (20 à 30 minutes pour le BLK-To-Go contre 2h30 à 3h pour le RTC360).

III.2.1.1.2 Post-traitement

Après les levers et export des données, le logiciel REGISTER 360 permet d'obtenir le visuel des nuages de points.

Pour les données issues du passage en une seule session de balayage, aucune information concernant la trajectoire et le calcul des compensations des erreurs n'est disponible. Tous les calculs s'effectuent en « boîte noire », c'est-à-dire que le système calcule et compense lui-même. Ainsi, il n'y a aucun moyen de savoir s'il y a des erreurs dans l'acquisition des données ou si le calcul des erreurs a bien fonctionné ou non. En effet, le rendu final est uniquement le nuage en un seul bloc. Cela pose un problème pour les cabinets de géomètre car il n'y a pas de contrôle des données, ni d'accès aux calculs réalisés.

Pour les données issues du passage en plusieurs sessions, par ce logiciel, on obtient un nuage par session de balayage. La consolidation des différentes sessions de balayage est réalisée comme si on traitait des balayages issus d'un scanner statique. Cette opération permet d'avoir des informations sur les consolidations des différents balayages, la précision de chaque consolidation et en fin de lever, de noter les erreurs de fermeture du cheminement.

Pour les données issues du RTC360 la consolidation des nuages s'est réalisée station par station comme à l'accoutumé.

III.2.1.2 Plateau d'entreprise à Sèvres

Ce chantier est un plateau sur un seul niveau, au rez-de-chaussée, pour une surface d'environ 580 mètres carrés, comprenant des cloisons à usage de bureaux. A la date du lever les locaux étaient vides car l'entreprise qui les utilisait avait déménagé. La forme des locaux facilite la mise en place du protocole en permettant de faire des boucles intermédiaires et de pouvoir fermer notre cheminement. La non-occupation des locaux a permis d'effectuer le tour de reconnaissance et le lever, sans dérangement.

Pour la phase de lever deux passages avec le BLK-To-Go sont réalisés. Ensuite, les locaux sont mesurés à l'aide du RTC360 en effectuant des stations successives, en suivant le même cheminement que celui avec le BLK-To-Go et en réalisant une boucle fermée. Avec le BLK-To-Go le passage en un seul bloc a duré 21 minutes, le passage en différentes sessions 33 minutes. Pour le RTC360, la durée du lever était de 2 heures 30 à 3 heures.

Pour la comparaison de nos données, nous prendrons comme référence celles du RTC360 pour contrôler celles du BLK-To-Go.

III.2.1.3 Locaux de Gexpertise

Pour ce chantier, les locaux de Gexpertise se situent sur un seul étage au rez-de-chaussée et leur surface est d'environ 1.300 mètres carrés. Ils ont été levés au BLK-To-Go en suivant le protocole expérimental prévu, après un premier passage pour déterminer le chemin à réaliser. Pour la phase de mesures, deux passages sont réalisés, toujours sur le même chemin et en effectuant une boucle fermée. Le lever au RTC360 a été réalisé en amont avant mon arrivée dans l'entreprise. Avec le BLK-To-Go, le passage en un seul bloc a duré 22 minutes, et le passage en différentes sessions a été de 35 minutes, alors que pour le RTC360 durée du lever était de 3 heures.

En plus de mesurer l'intérieur des locaux de l'entreprise, une session de balayage a été réalisée à l'extérieur des locaux. Ce lever consiste à étudier le comportement de l'appareil dans un environnement extérieur et à vérifier s'il est possible de réaliser un lever de façade avec un tel appareil. Pour la phase de lever en extérieur, faute de pouvoir effectuer des boucles intermédiaires ni de pouvoir mesurer en différentes sessions de balayage, une seule session a été réalisée en cheminement fermé. C'est pourquoi pour la phase d'initialisation a

été effectuée dans une pièce à l'intérieur, le lever s'est poursuivi en extérieur le long du bâtiment puis terminée là où nous avons commencé la session de balayage.

Pour l'intérieur des locaux, différentes solutions dynamiques (NavVis M6 et VLX, Viametris BMS3D et le BLK-To-Go) sont comparées avec la solution de référence par le RTC360.

Les manipulations de ces différents appareils ont été réalisées avant mon arrivée dans l'entreprise, par les commerciaux de chaque marque. Pour le traitement des données Gexpertise a eu accès seulement aux données assemblées des différents appareils. Pour ce chantier, les locaux sont levés au BLK-To-Go et les données du RTC360, déjà traitées, sont récupérées, de même que celles des autres solutions dynamiques.

III.2.1.4 Grand magasin

Après les levés dans des locaux d'entreprise, les mesures du grand magasin de 11.000 mètres carrés sont réalisées. Il a été demandé à Gexpertise de réaliser un plan au 1/100^{ème} de l'ensemble du magasin. Mon lever dynamique avec le BLK-To-Go a été réalisé en parallèle des équipes présentes sur le terrain pour réaliser le plan par les méthodes traditionnelles.

L'ensemble de l'espace de vente a été balayé en effectuant un cheminement fermé sans aucune boucle intermédiaire. En effet, le lever aurait été trop long avec cette modalité, et il est préconisé par le constructeur de ne pas faire de longues sessions de balayage (éviter les sessions de plus de 30 minutes). Différentes sessions de balayage n'ont pas pu être effectuées car la configuration de l'espace (grande hauteur sous plafond et beaucoup d'éléments de détails) aurait nécessité une trop grande zone de recouvrement entre les balayages. On aurait alors perdu l'avantage de la rapidité d'un tel appareil.

En plus de l'espace de vente, les locaux du personnel du magasin ont aussi été mesurés par les équipes. Il fallait y avoir accès pour effectuer également les mesures dynamiques avec le BLK-To-Go. Toutefois, un seul passage en différentes sessions, a pu être réalisé, car seules quelques portes étaient ouvertes à la demande, à certains moments de la journée par un responsable. La forme de ces locaux ne permettait pas d'effectuer un cheminement fermé, mais une antenne le long d'un même couloir commun à tous les locaux (voir annexe 3).

Les données obtenues par le BLK-To-Go ont été comparées aux plans au 1/100^{ième} réalisés par les équipes de Gexpertise par les méthodes traditionnelles (distancemètre et tachéomètre).

III.2.2 Comparaisons des données

Après avoir traité les données, nous obtenons des nuages de points des levers dynamiques que nous comparerons à ceux obtenus par les méthodes de références. Différentes méthodes de comparaison seront utilisées :

- Dans un premier temps, la comparaison nuage à nuage, des données des solutions dynamiques par rapport à celles issues de la solution de référence, à l'aide du logiciel Cyclone 3DR ;
- Dans un second temps, comparaison entre le dessin des plans et les nuages respectifs puis quantification des écarts entre le plan et les nuages de points ;
- Enfin à partir des plans dessinés, calcul des surfaces des différentes pièces selon différents critères.

Ensuite, nous évaluerons pour quels chantiers, le BLK-To-Go pourrait être utilisé.

III.2.2.1 Comparaison nuage à nuage

Ce traitement concerne seulement : le nuage réalisé sur le plateau d'entreprise situé à Sèvres et celui des locaux de Gexpertise.

Une comparaison nuage à nuage a été effectuée. Elle consiste à superposer les deux nuages en gardant le nuage du RTC360 comme référence. Pour cela le logiciel Cyclone 3DR de Leica a été choisi plutôt que le logiciel Cloud Compare. En effet le Cloud Compare est un logiciel « open source » qui rencontre des difficultés à travailler avec des nuages d'une grande densité de points, alors que Cyclone 3DR est un logiciel optimisé pour ces derniers, tout en ayant les mêmes fonctionnalités que Cloud Compare.

Pour comparer les nuages il faut que ces derniers soient dans le même système de coordonnées. Les nuages du BLK-To-Go n'étant pas géoréférencés, il a fallu placer les nuages dans un même système de coordonnées. A cette fin, les nuages ont été consolidés au moyen de Cyclone 3DR. Un pré-alignement a été nécessaire en effectuant des rotations et

des translations d'un nuage par rapport à un autre. Une fois ce pré-alignement effectué, Cyclone 3DR a pu consolider de manière visuelle les nuages.

Une fois les deux nuages dans le même système de coordonnées, l'outil « Inspect Cloud vs Cloud », permet de les comparer.

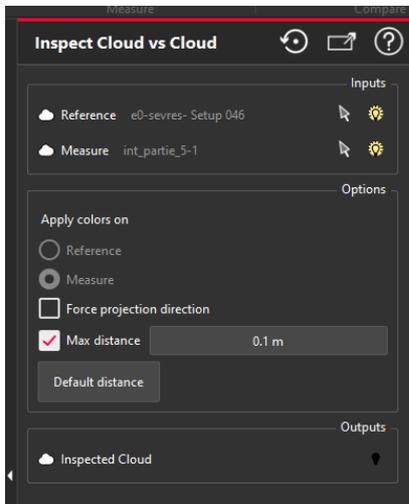


Figure 10 : Capture d'écran du logiciel Cyclone 3DR, donnant des informations sur les paramètres de la comparaison nuage à nuage. Source N. Amadieu

Cet outil « Inspect Cloud vs Cloud » a été configuré avec le nuage du RTC360 en référence (Figure 10), et pour que les points se situant à plus de 10 centimètres les uns des autres ne soient pas pris en compte. Ce choix a été fait car, après de nombreux tests, au-delà de 10 centimètres, les données étaient inutiles et n'apportaient aucune valeur ajoutée aux données comparées. Ainsi le logiciel se limite dans son traitement.

Cet outil nous restitue une courbe sur une échelle, modélisant la répartition des distances entre les deux nuages. L'objectif est qu'au moyen de cette comparaison nuage à nuage, on retrouve cette courbe de type gaussienne avec toutes les valeurs centrées en zéro ou centrées sur une valeur de distance faible. Une courbe gaussienne est recherchée, car on souhaite que la majeure partie des points de la courbe soient centrés vers la valeur de la distance la plus faible.

III.2.2.1.1 Plateau d'entreprise à Sèvres

Pour la comparaison du nuage du BLK-To-Go avec le nuage du RTC360 du plateau d'entreprise à Sèvres nous obtenons les représentations suivantes (Figure 11) :

Ces représentations sont les écarts entre notre nuage de référence et les nuages pour les différentes modalités. Il y a bien des écarts entre les nuages de points du lever au BLK-To-Go et les données du RTC360, elles ne sont donc pas confondues. Par ailleurs, les représentations ne sont pas identiques entre les deux méthodes de balayage au BLK-To-Go.

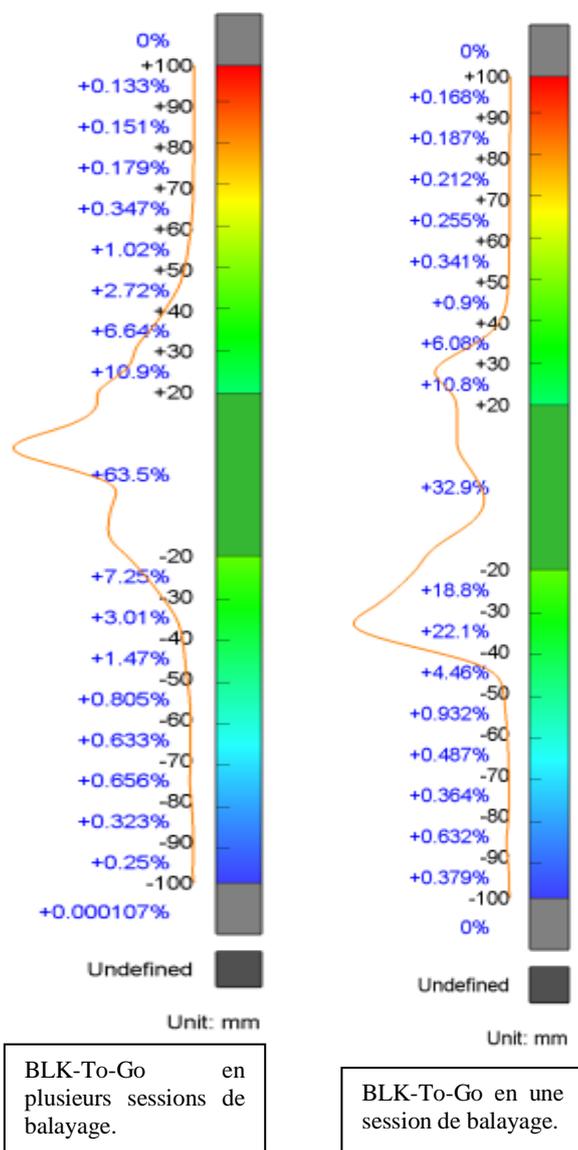


Figure 11 : Captures d'écran de la courbe modélisant la distance des nuage du BLK-To-Go, avec la référence. N. Amadiou

Pour équivalence des techniques de lever, il faudrait que les représentations soient centrées sur l'intervalle ± 2 centimètres, ce qui correspond au bruit de la mesure du BLK-To-Go.

Pour la représentation du lever fait en plusieurs sessions, plus de 60% des points se situent à une distance allant de 1 à 2 centimètres du nuage du RTC360, cela signifie que pour la plupart des points le nuage du RTC360 est confondu avec celui du BLK-To-Go (bruit de 2 centimètres).

Quant aux données du lever réalisé en une seule session, 40% des points se situent environ à une distance de 2 à 4 centimètres du nuage du scanner statique et seulement 33% des points se situant à une distance de plus ou moins 2 centimètres.

De cette première comparaison, nous pouvons conclure, que la méthode de lever dynamique en plusieurs sessions de balayage est plus proche de celle de référence que celle en une seule session. Nous obtenons donc une première indication sur le type de protocole et le type de chantier réalisable avec cet appareil.

III.2.2.1.2 Locaux de Gexpertise

Pour la mesure des locaux de Gexpertise, l'objectif est de tester et comparer les différentes solutions dynamiques. Examinons tout d'abord les caractéristiques de ces différentes solutions à l'aide du tableau comparatif ci-dessous :

Tableau 1 : Tableau comparatif des caractéristiques des différentes solutions dynamiques.

	NavVis VLX sac à dos	NavVis M6 chariot	Viametris BMS3D sac à dos	BLK-To-Go scanner à main
Caméras	4	6	1 panoramique	3 panoramiques et 1 haute précision
Autonomie	1h30	3h30	8h	45-50 minutes
Poids	9,3kg	42kg	13,5kg	775g
Champ de vision	360° horizontal 360° vertical	270°- 360° horizontal 30° vertical	360°	360° horizontal 270° vertical
Porté maximale	100 mètres	100 mètres	100 mètres	25 mètres
Scanner LiDAR	2	4	2	1
Points par seconde	2 x 300,000	343,200	2 x 320,000	420,000
Précision relative (millimètres)	8	Non fourni	20	6-15
Taille (centimètres)	108 x 56	198 x 94	100 x 38	27,9 x 8
Bruit de la mesure	1 centimètre	1 centimètre	2 centimètres	2 centimètres
Photos	 https://www.navvis.com/	 https://www.navvis.com/	 https://viametris.com/	 https://blk2go.com/

Le tableau 1, nous montre que les appareils sont différents, principalement dans leur poids, dans les éléments qui les composent et leurs capacités de balayage.

En plus des différences présentes dans le tableau, ci-dessus, leur utilisation est différente sur le terrain.

Le NavVis M6 est un chariot, qui fonctionne sur roulettes, à la différence des autres appareils qui sont transportables (sacs à dos ou bien un appareil à main). Le chariot ne peut pas monter des marches : il est donc contraint à des surfaces sur un seul niveau, à la différence des autres appareils qui peuvent être utilisés pour balayer différents niveaux en montant des escaliers.

Autre différence, sur le terrain lors la phase d'acquisition, les méthodes de lever ne sont pas identiques et restent spécifiques à chaque constructeur :

- Pour les appareils NavVis, avant de balayer dans un environnement, il faut préalablement avoir disposé au sol des cibles connues en coordonnées, mesurées au tachéomètre. Ces cibles permettent de contraindre le nuage de points, et d'obtenir la précision annoncée par les constructeurs.
- Pour le sac à dos Viаметris BMS3D, avant de commencer le lever, il faut initialiser le système par une phase dite de « captation ». Elle consiste à démarrer tous les systèmes (les scanners et le récepteur GNSS et autres capteurs). Après cette étape, on effectue notre lever en intérieur ou en extérieur. Et si le signal GNSS est perdu durant le lever, l'appareil continue de fonctionner. Il est donc nécessaire pour cet appareil d'avoir une connexion GNSS à proximité du chantier et de ne pas se situer en zone blanche.
- Pour le BLK-To-Go, les cibles sont utilisées seulement pour le géoréférencement. Elles n'aident pas à la consolidation ni à obtenir un nuage mieux déterminé. Cet appareil est facile d'utilisation et ne nécessite pas d'effectuer de manipulations spécifiques sur le terrain, en amont.

Pour la comparaison nuage à nuage de chaque mesure des scanners dynamiques avec la mesure de référence du RTC360, on obtient les représentations des écarts suivants (Figure12) :

- Pour la représentation des écarts du nuage du BLK-To-Go fait en une seule session, plus de 72% des points se situent à une distance de plus ou moins 2 centimètres du nuage de référence, avec la fonction de répartition centrée sur 1 centimètre d'écart ;
- Pour la représentation des écarts du nuage du BLK-To-Go fait en différentes sessions, plus de 81% des points se situent à une distance de plus ou moins 2 centimètres du nuage de référence avec la fonction de répartition centrée sur 1 centimètre d'écart ;
- Pour la représentation des écarts du nuage du Viametris, BMS3D, 60% des points se situent à une distance de plus ou moins 2 centimètres de la référence, avec la fonction de répartition centrée sur -2 centimètres ;
- Pour la représentation des écarts du nuage du scanner dynamique NavVis VLX, moins de 50% des points se situent à plus ou moins 1 centimètre du nuage de référence, avec la fonction de répartition qui tend à être centrée en 0. Ce scanner a aussi plus de 80% de ses points se situant à plus ou moins 2 centimètres de la référence ;
- Pour la représentation des écarts du nuage du chariot NavVis M6, moins de 50% des points se situent à une distance de 1 à 2 centimètres du nuage de référence, avec la fonction de répartition centrée sur 1 centimètre, et 33% des points se situent à plus ou moins 1 centimètre de la référence.

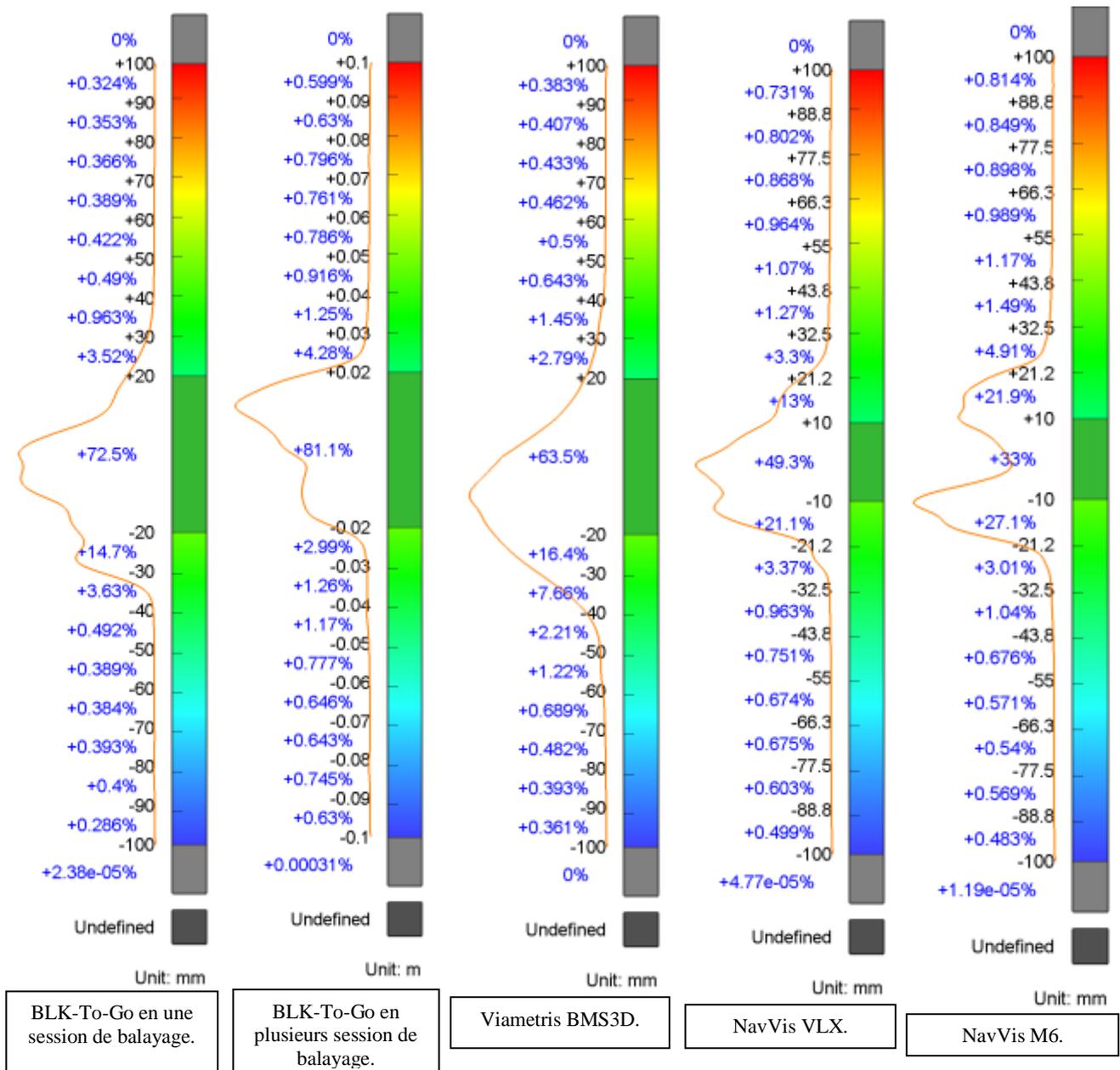


Figure 12 : Captures d'écran de la courbe modélisant la distance des nuages des solutions dynamiques avec la référence. Source N. Amadiou

III.2.2.1.3 Conclusion

La méthode dynamique dont le nuage de points est le plus proche de la référence (RTC360), est le NavVis VLX. Pour cette solution, 50% des points se situent à plus ou moins 1 centimètre. De plus 80% des points sont à plus ou moins 2 centimètres.

Mais le nuage du BLK-To-Go, issu de la mesure en plusieurs sessions de balayage, possède lui aussi 80% de ses points à plus ou moins 2 centimètres de la référence.

Ce qui différencie également ces scanners dynamiques, est la manipulation sur le terrain, en suivant les instructions et les contraintes des constructeurs pour atteindre la précision souhaitée. Chacun possède un protocole strict et essentiel présenté ci-dessus. De notre liste, le BLK-To-Go est le plus simple à utiliser du fait de son poids ce qui le rend très maniable et facilite mise en œuvre sur le terrain. Mais le bruit de la mesure du NavVis VLX (1 centimètre) reste bien inférieur au bruit du BLK-To-Go (2 centimètres).

L'étude de ces nuages permet de détecter si, pour chaque méthode dynamique, il y a un écart global ou bien un écart par secteur (extrémité des nuages). Si ces écarts peuvent être la résultante d'une dérive ou d'une erreur dans les corrections ou d'un décalage du nuage par rapport à la réalité. Mais après cette comparaison, il est impossible de dire à quoi correspondent les écarts ni de quantifier cette éventuelle erreur. C'est pourquoi une comparaison en coupe est nécessaire pour quantifier et mesurer les écarts entre les nuages et la référence.

III.2.2.2 Etude des plans et des nuages

Ce traitement concerne les nuages réalisés sur les trois chantiers : le plateau d'entreprise se situant à Sèvres, les locaux de Gexpertise et le grand magasin.

Pour cette comparaison, il a fallu dessiner le plan de l'ensemble des locaux de l'un des nuages de points. Cette manipulation a été réalisée car aucun logiciel ne permettait de superposer deux coupes de nuages. On peut ainsi visualiser les écarts. Le plan a été réalisé sur le nuage de référence du RTC360. Le logiciel « Autocad » et son extension « Cloud Worxs », ont permis de dessiner le plan à partir du nuage de points.

Pour dessiner les plans, une coupe horizontale est effectuée sur le nuage à 1 mètre du sol et sur 30 centimètres d'épaisseur. Ces paramètres sont ceux utilisés dans la méthode de report de Gexpertise et sont ainsi choisis, car en retenant un nuage de 30 centimètres d'épaisseur, nous disposons généralement de suffisamment de détails. Si des objets nous empêchent de distinguer les murs, il suffit de monter ou descendre la coupe selon les besoins.

III.2.2.2.1 Plateau d'entreprise à Sèvres

Pour le plateau de Sèvres, la comparaison a été réalisée entre le plan dessiné sur le nuage de points du RTC360 et les nuages de points issus des balayages BLK-To-Go. Après avoir dessiné les différentes pièces, les cloisons et le gros œuvre du plan, nous avons affiché les nuages respectifs des deux modalités du BLK-To-Go. Comme les nuages sont dans le même système de coordonnées, nous avons pu visualiser facilement les différences et donc des erreurs dans nos données.

Dans un premier temps, le plan a été superposé avec le nuage issu de la méthode de passage en plusieurs sessions pour le BLK-To-Go (Figure 13).

En superposant le dessin de référence et le nuage de points, aucun écart ne semble apparaître. Le plan est confondu avec le nuage de points, aucune erreur de mesure ne semble ressortir. Le nuage du BLK-To-Go possède un bruit de mesure de 2 centimètres. Donc le nuage du BLK-To-Go, ce protocole est fiable et conforme à la référence à 2 centimètres près.



Figure 13 : Capture d'écran de la superposition du nuage fait en plusieurs sessions de balayage et du plan dessiné à partir de la solution statique. Source N. Amadiou

Pour le passage en une seule session de balayage, le processus de comparaison s'est déroulé de la même manière que précédemment, (Figure 14). Pour ce nuage, à la différence de la méthode précédente, il y a des écarts entre le nuage et le plan de référence. Ces écarts ne sont pas grandissant en fonction de notre cheminement ; ils sont répartis sur l'ensemble de notre plan. Il y a bien un décalage global du plan de 3 centimètres, allant jusqu'à 5 centimètres pour certains éléments modélisés.



Figure 14 : Capture d'écran de la superposition du nuage fait en une seule session de balayage et du plan dessiné à partir de la solution statique. Source N. Amadiou

Pour conclure, il y a une différence entre les deux méthodes de lever issues du BLK-To-Go. Pour la méthode de lever effectué par le passage en plusieurs sessions de balayage, le nuage de points est confondu avec le plan de référence. Alors que pour le passage réalisé en une seule session de balayage, il y a des écarts qui correspondent plus à un décalage qu'à une dérive, car les écarts n'augmentent pas de manière croissante quand on avance dans notre lever. Pour le bruit de la mesure, il est constant à 2 centimètres pour les deux solutions.

Pour ces deux méthodes de balayages, les écarts correspondent aux écarts de distance obtenus lors de la comparaison nuage à nuage, effectuée précédemment avec la solution de référence.

III.2.2.2 Locaux de Gexpertise

Pour les locaux de Gexpertise, il s'agira d'étudier dans un premier temps les nuages de l'intérieur des locaux et dans un second temps le lever extérieur de la façade de l'entreprise. Comme dernière étude de nuage, une session de balayage a été réalisée sur des cibles noires et blanches, afin de vérifier si le géoréférencement est réalisable avec le BLK-To-Go.

L'étude du nuage de points de l'intérieur des locaux des différentes solutions dynamiques se fera de manière individuelle et visuelle, pour évaluer la qualité de ces nuages. Les différents critères sont : l'évolution du bruit et la facilité à dessiner sur les nuages de points en réalisant le moins d'approximations possibles de la part du dessinateur. Pour cela des coupes sont réalisées dans les différents nuages, là encore à 1 mètre du sol et de 30 centimètres d'épaisseur :

- Pour le nuage du NavVis M6, nous avons un bruit égal à 1 centimètre mais beaucoup de murs ne sont pas droits (apparaissent comme des vagues) et de nombreux angles sont arrondis, annexe 4 ;
- Pour le nuage du NavVis VLX nous avons un bruit égal à 1 centimètre, les murs représentés sont droits et le phénomène d'angle arrondi est faible voire inexistant, annexe 4 ;
- Pour le Viametris BMS3D nous avons un bruit égal à 2 centimètres et malgré cela les murs ne sont pas droits et les angles sont arrondis, annexe 4 ;
- Pour le BLK-To-Go nous avons un bruit de 2 centimètres, avec des murs droits et des angles bien déterminés pour les deux méthodes de passage (une et plusieurs sessions de balayage), annexe 4.

Pour dessiner sur le nuage de points, la solution qui permet d'avoir le moins d'estimations par le dessinateur sur la position des éléments présents dans le nuage de points, est le NavVis VLX. En effet, il possède un bruit de mesure d'1 centimètre et des angles de murs suffisamment bien déterminés : les estimations de la part du dessinateur sont alors peu présentes.

Le nuage BLK-To-Go est aussi adapté au dessin d'un plan, mais le dessinateur devra tout de même estimer la position des éléments à tracer car le bruit est de 2 centimètres. Ce

bruit de la mesure amène à plus d'approximations pour le dessinateur que lors du dessin sur le nuage du NavVis VLX.

Pour étudier le nuage de la façade de l'entreprise levée avec le BLK-To-Go, une coupe a été réalisée dans le nuage de points (Figure 15).

D'après la capture d'écran ci-dessous nous avons un décalage entre des éléments balayés durant le premier passage et ces mêmes éléments balayés lors du deuxième passage, au moment de la boucle de fin du cheminement.

Les écarts entre les murs balayés deux fois augmentent selon le cheminement, avec un décalage allant jusqu'à 19 centimètres. En plus de cet écart, on a un bruit d'environ 4 centimètres (doublement du bruit de 2 cm de chaque passage, murs qui se chevauchent).

Cela montre que sans effectuer de boucles intermédiaires, par ailleurs dans un environnement extérieur (végétation à proximité) et possédant moins d'amers (façade de l'entreprise), le BLK-To-Go ne permet pas des levés fiables. Pour ce type d'environnement, les algorithmes de compensation d'erreur et de correction de dérive de la centrale IMU, ne semblent pas fonctionner parfaitement, ce qui amène des erreurs et un décalage allant jusqu'à 19 centimètres.



Figure 15 : Capture d'écran de la coupe du nuage avec les écarts entre les éléments du décor scannés en double. Source N. Amadiou

Le test sur les cibles noires et blanches a été réalisé seulement à l'aide du BLK-To-Go. Les cibles ont été balayées de différentes manières pour vérifier si le géoréférencement

était possible, même s'il n'a pas pu être mis en place dans l'étude [18] et dans nos chantiers. Les cibles utilisées sont des cibles classiques noires et blanches montées sur trépieds ou imprimées sur des feuille A4 et accrochées aux murs.

Pour certaines, un balayage statique de face a été fait, et pour d'autres, un balayage en se déplaçant autour des cibles a été réalisé. Pour la durée d'acquisition, chaque cible a été balayée pendant 20 à 30 secondes. Ces méthodes sont celles préconisées par les commerciaux de Leica et par l'entreprise Capture Solution l'ayant testé et en rassemblant les retours de professionnels.

Sur REGISTER 360, pour sélectionner les cibles, un outil existe et permet de détecter automatiquement le centre des cibles. Pour cela il suffit de sélectionner n'importe quel point du nuage à proximité du centre de la cible modélisée et le logiciel en détecte automatiquement son centre. Pour notre nuage, cet outil n'a réussi à détecter le centre d'aucune cible.

Une autre alternative pour sélectionner le centre des cibles, est un outil qui permet de sélectionner n'importe quels points du nuage. Ce dernier est utilisé pour s'accrocher au point du nuage se situant au centre virtuel de la cible. En faisant cette manipulation, le point accroché est, la plupart du temps, un point se situant dans une autre partie du nuage (dans notre cas dans la pièce derrière notre nuage), ce qui rend notre géoréférencement faux.

La solution retenue, pour forcer la sélection des cibles, est d'utiliser l'outil « boîte de limites », avec la sélection virtuelle. L'outil « boîte de limite », permet d'isoler la partie du nuage contenant la cible et la sélection virtuelle permet de s'accrocher au point du nuage se situant le plus près du centre. Cette opération n'est pas la plus précise car on se base sur les images panoramiques qui ont servi à coloriser le nuage de points, non pas sur le nuage directement. En effet, le nuage est trop peu dense pour distinguer les objets et les formes. C'est également pour cette raison que le logiciel ne fonctionne pas avec l'outil de détection automatique du centre des cibles.

Ce problème est dû au fait que l'appareil enregistre les données par bandes verticales. On ne peut pas demander à l'appareil de balayer à l'endroit souhaité de manière uniforme.

Dans le cas du BLK-To-Go, la détection de cible pour le géoréférencement de notre nuage est possible mais c'est une procédure longue à mettre en place dans les traitements. Sur le terrain, pour avoir une détection des cibles qui pourrait fonctionner, il faut soit balayer

très longtemps la cible (au moins 1 minute), soit balayer les différentes cibles avec une solution statique et assembler les données avec celles du BLK-To-Go.

III.2.2.2.3 Grand magasin

Pour le grand magasin, il s'agira d'étudier dans un premier temps, le nuage de l'espace de vente, effectué en une seule boucle fermée, et dans un deuxième temps les locaux servant pour les employés, effectué en plusieurs sessions de balayage.

Pour l'espace de vente, le cheminement a été représenté à l'annexe 5.

Après avoir réalisé le lever, on étudie de manière visuelle le nuage de points. L'utilisation du logiciel Autocad permet de manipuler le nuage et d'obtenir la Figure 16.

Sur cette figure, on observe bien que le nuage a subi une dérive suivant le plan horizontal. Sur une longueur totale d'environ 140 mètres, on relève un maximum de 3,40 mètres de décalage par rapport au sol, au plus loin du nuage. On distingue à gauche de notre nuage, la zone où le lever a débuté (Début). A cet endroit, le sol est horizontal, comme il devrait l'être pour l'ensemble du nuage (Figure 17, exemple de nuage issu du BLK-To-Go, avec un sol horizontal). Plus on avance dans notre lever, plus ce décalage horizontal augmente jusqu'au maximum noté.

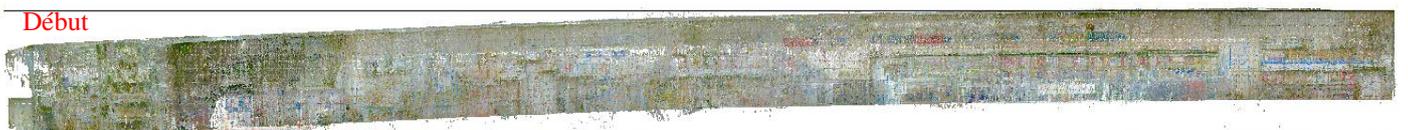


Figure 16 : Capture d'écran du logiciel Autocad, vue horizontale du nuage de points de l'espace de vente. Source N. Amadiou



Figure 17 : Capture d'écran du logiciel Autocad du nuage de points des locaux de Gexpertise. Source N. Amadiou

Ce défaut d'horizontalité croissant montre que le nuage a subi une dérive. Il s'agira par la suite, en réalisant une coupe, de visualiser et de quantifier les conséquences de cette dérive (Figure 18).

Sur la capture de la coupe de cet espace de vente, on observe des éléments en double. Ils correspondent à ceux balayés deux fois : une première fois lors du premier passage et une deuxième fois quand on ferme la boucle. Les écarts entre ces éléments augmentent au fur et à mesure que l'on avance dans le cheminement. Ils sont de 64 centimètres au maximum, entre deux éléments identiques. Pour le bruit de la mesure, il varie de 2 à 4 centimètres. La cause en est, comme le nuage est penché, que le bruit de la mesure augmente à son tour. Preuve que nous avons des éléments qui se chevauchent créant un bruit bien plus important.

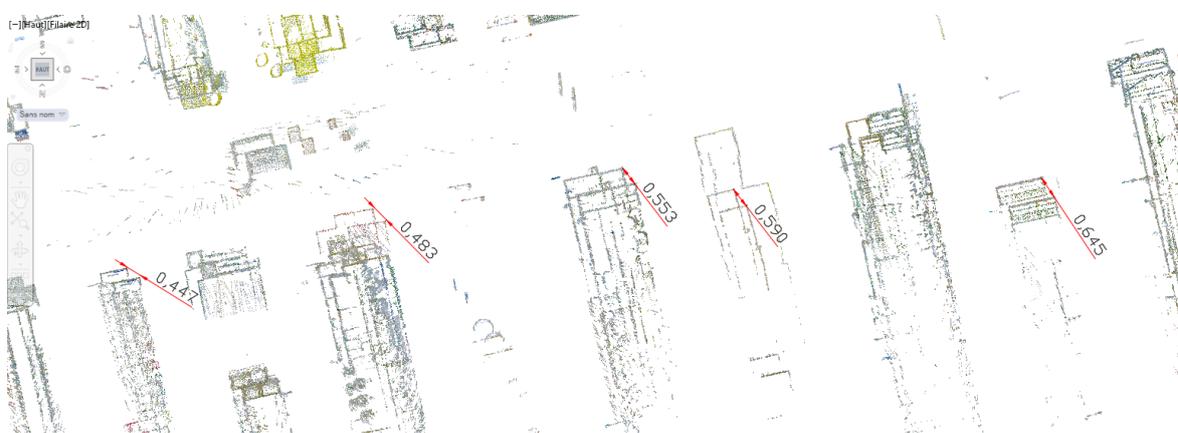


Figure 18 : Capture d'écran du logiciel Autocad, vue horizontale du nuage de points de l'espace de vente. Source N. Amadiou

Ce bâtiment possède des poutres porteuses, qui s'élèvent du sol au plafond, et comme la portée maximale de notre appareil est de 25 mètres, ces dernières ont pu être balayées. Pour étudier la dérive, nous les avons dessinées et nous avons étudié les écarts entre la base et le sommet de ces poutres. Pour cela, une coupe horizontale est réalisée, en commençant au niveau de la base de la poutre puis on remonte la coupe jusqu'au sommet et enfin, on dessine la poutre. Cette opération est réalisée sur les piliers répartis sur toute la longueur de l'espace de vente.

Au milieu de l'espace de vente, à l'endroit où, sur la coupe horizontale, la pente est la plus importante, les écarts entre la base et le sommet de ces piliers varient de 4 centimètres minimum d'écart, à l'endroit où l'inclinaison du nuage est la moins importante jusqu'à 11 centimètres au maximum.

En conclusion, cette étude montre bien que, pour un ensemble avec une grande hauteur sous plafond et avec de nombreux détails, le manque de boucles intermédiaires et le fait de faire un si long lever, ne permet pas à la centrale inertielle de compenser les erreurs liées à la dérive de la centrale IMU. Cet appareil ne semble pas être adapté à lever ce type d'ensemble, à cause de la configuration des lieux.

Les locaux servant aux employés ont été balayés au BLK-To-Go par la méthode de balayage en différentes sessions. Il s'agira de comparer le nuage de points avec les plans d'intérieurs réalisés au 1/100^{ième} par les équipes de Gexpertise.

Le plan d'intérieur est la référence dans cette comparaison. Pour établir ce plan les mesures ont été réalisées par les méthodes traditionnelles (distancemètre et tachéomètre). Les ouvrants des fenêtres ont été mesurés à l'aide du tachéomètre. Les autres points sont levés à l'aide du distancemètre, pour lequel des arrondis sont faits. C'est pourquoi, le plan du mur sur lequel repose les fenêtres est le plus fidèle à la réalité, alors que pour les autres murs, en s'éloignant des fenêtres, il peut y avoir des écarts.

Pour comparer le nuage de points avec le plan des locaux, les deux éléments doivent être dans le même système de coordonnées. Pour cela, un recalage par la méthode de transformation Helmert 2D, a été réalisé sur le logiciel Autocad. Cette opération permet de passer d'un système de coordonnées à un autre. Cette opération minimise aussi l'écart quadratique moyen entre les points sélectionnés pour effectuer cette transformation. L'avantage d'effectuer une transformation Helmert 2D est de garder le contrôle de l'écart moyen quadratique de la transformation. Sept points ont été utilisés pour réaliser cette transformation d'Helmert et nous obtenons des résidus pour chaque point (Figure 19).

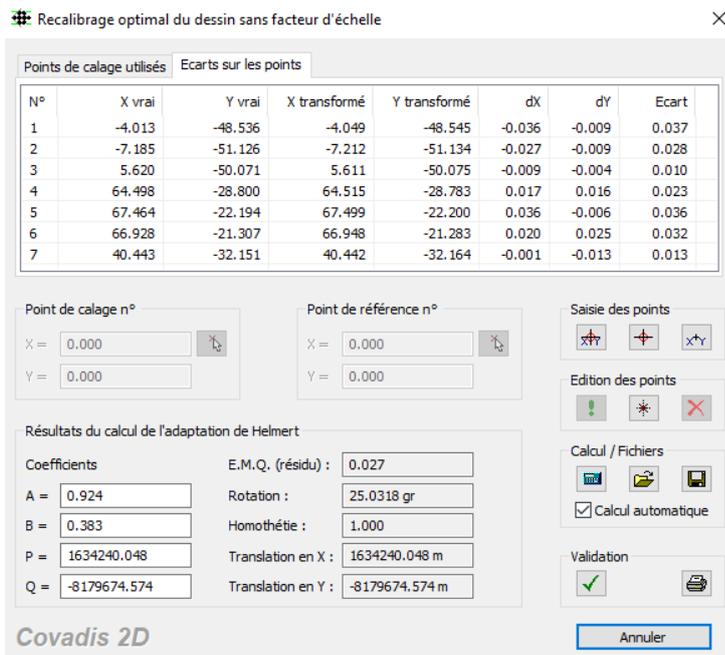


Figure 19 : Capture d'écran du rapport de la transformation d'Helmert. Source N.Amadieu

Les sept points utilisés pour la transformation d'Helmert, ont été sélectionnés sur le nuage et sur le plan.

Les points sont répartis uniformément sur l'ensemble, il a été important de ne pas prendre des points rapprochés. Ils se situent aux coins de notre nuage et en son centre.

Pour donner suite à cette transformation, nous obtenons comme résidu un EMQ de 2.7 centimètres.

Une fois les éléments dans le même système de coordonnées, la comparaison entre le plan et le nuage peut être réalisée (Figure 20).

La comparaison de notre nuage de points et le mur qui a servi à construire le plan donne des écarts n'excédant pas les 4,6 centimètres et pour certaines pièces il y a aucun écart. Les résidus de notre transformation d'Helmert sont de 2,7 centimètres, ce qui justifie certains écarts. Les écarts semblent correspondre à un décalage car ces deniers sont répartis de manière aléatoire sur le nuage, ce qui n'est pas caractéristique d'une dérive.

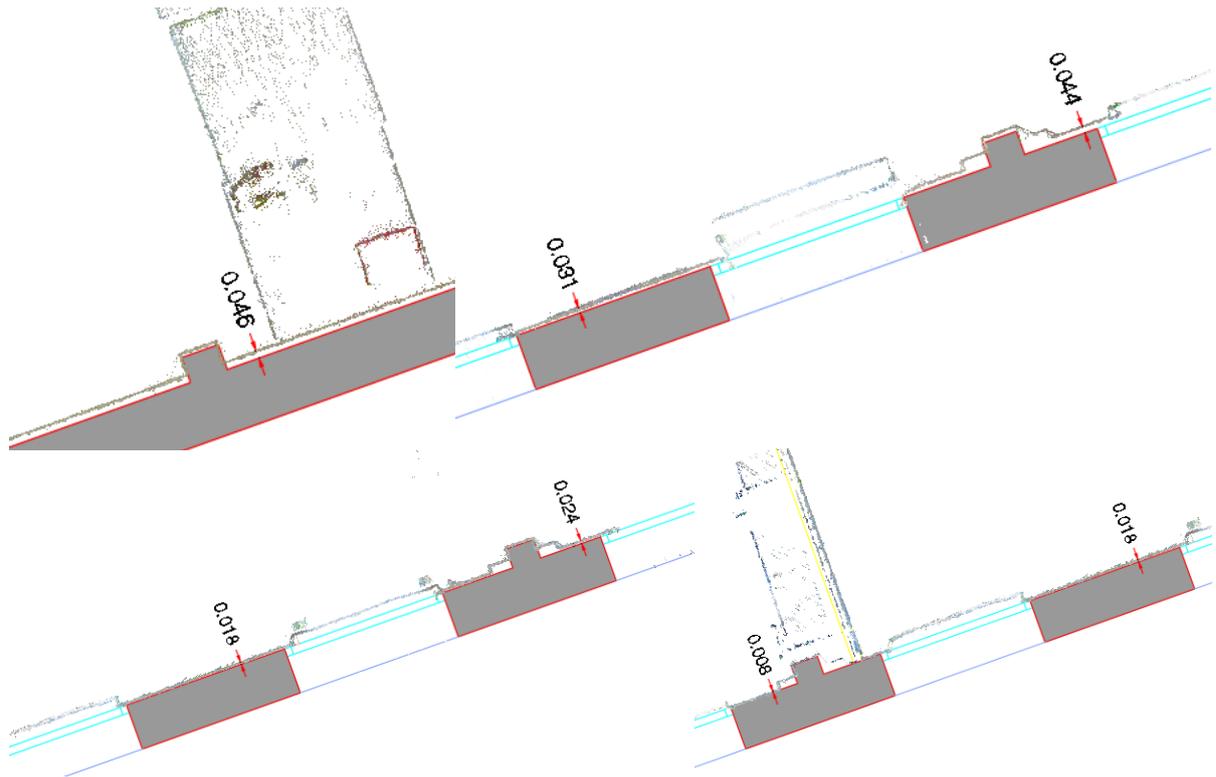


Figure 20 : Capture d'écran du logiciel Autocad, de l'écart entre le nuage de points et le plan au 1/100^{ième} choisi comme référence. Source N. Amadiou

III.2.2.2.4 Conclusion

L'étude des coupes dans les nuages a permis de savoir si les erreurs étaient un simple décalage ou une dérive et d'en expliquer les écarts.

Les tests montrent que lors de l'utilisation du BLK-To-Go pour un lever réalisé en une seule session de balayages, les boucles intermédiaires étaient essentielles. C'est un appareil qui est adapté uniquement pour des intérieurs restreints (bureaux et appartements) avec peu de hauteur sous plafond. Les résultats des levés avec le BLK-To-Go montrent que le passage en plusieurs sessions, est la méthode qui génère le moins d'écarts.

Comme dernière étude, il faudra vérifier si les surfaces calculées sur les plans dessinés à partir des nuages levés avec le BLK-To-Go, les écarts surfaciques restent dans la tolérance admise par Gexpertise.

III.2.2.3 Comparaison de surfaces

Ce traitement concerne les nuages de points réalisés sur les chantiers du plateau d'entreprise à Sèvres et sur les locaux du grand magasin.

Comme méthode, nous allons comparer les surfaces calculées sur les plans dessinés à partir du nuage du BLK-To-Go, et ceux dessinés par la solution statique. Les plans sont toujours dessinés à partir de coupes horizontales dans les nuages et les surfaces calculées sont la Surface Utile Brute (SUB) et la Surface De Plancher (SDP).

La Surface De Plancher est une surface réglementaire, régie par le code de l'urbanisme [20]. Avant la circulaire de 2011 et l'application du décret de 2011, en termes d'urbanisme pour les permis de construire, on est passé de la Surface Hors d'Œuvre (SHO) à la SDP.

La SDP est utilisée pour calculer la taxe d'aménagement et est définie à l'article L112-1 du Code de l'urbanisme comme étant «la surface de plancher de la construction qui s'entend comme la somme des surfaces de plancher closes et couvertes, sous une hauteur de plafond supérieure à 1,80 m, calculée à partir du nu intérieur des façades du bâtiment ».

De son côté, la Surface Utile Brute est généralement utilisée pour les baux locatifs dans les commerces et bureaux. Etant de nature contractuelle, elle peut être calculée librement tout en respectant certaines règles.

La SUB est selon la charte de l'expertise en évaluation immobilière [21], égale à la surface de plancher déduction faite des éléments structuraux et des circulations verticales. Dans des bureaux, cette surface peut se décomposer en éléments principaux : circulation horizontale, locaux à caractère social et sanitaire et enfin les surfaces effectivement réservées aux postes de travail. Utilisée pour valoriser ces espaces de bureaux, certaines cloisons ne sont pas prises en compte ni les espaces d'une hauteur sous plafond inférieure à 1 mètre 80 [22].

III.2.2.3.1 Plateau d'entreprise à Sèvres

Dans le plateau d'entreprise à Sèvres, pour les deux méthodes de passage avec le BLK-To-Go, nous avons constaté que pour l'une, le nuage était confondu avec la référence, et pour l'autre, nous avons des écarts entre le nuage et la référence. L'objectif est de calculer et comparer la SUB et la SDP pour chaque méthode.

Pour la SDP, le tableau 2 compare les deux méthodes de lever et nous affiche les écarts surfaciques en valeur absolue et en pourcentage.

Les écarts entre les deux méthodes de lever sont différents, mais ne dépassent pas les 16 centimètres carrés (0,03% de la surface totale). Dans ce cas-là, les écarts sont tout à fait négligeables. Par ailleurs, la SDP donne très peu d'informations sur les surfaces de chaque pièce. Par la suite, la comparaison des SUB devrait nous donner plus d'informations sur l'origine de ces écarts et leur répartition par typologie de locaux.

Tableau 2: SDP du plateau d'entreprise à Sèvres confrontant les deux méthodes de lever.

	Plan BLK-To-Go	Plan RTC360	Ecart	Pourcentage
Nuage du BLK-To-Go fait en une seule partie	580,12 m ²	580,22 m ²	0,10 m ²	0,02 %
Nuage du BLK-To-Go fait en plusieurs parties	580,06 m ²		0,16 m ²	0,03 %

Pour les SUB, les écarts entre les deux méthodes de lever du BLK-To-Go sont réparties dans les deux tableaux suivants (tableau 3 et tableau 4). Dans cette comparaison, comme les surfaces sont différentes selon les catégories de locaux, nous allons nous préoccuper principalement des pourcentages d'écart.

Le tableau 3 correspond aux SUB calculées à partir du nuage levé par la méthode en une session de balayage. Les surfaces sont réparties en fonction des différentes pièces, ce qui donne plus d'informations sur la répartition des écarts par typologie de local. Les écarts sont bien plus importants que les écarts obtenus en calculant la SDP. Pour la SUB, nous obtenons au maximum un écart de 0,66%, mais cet écart important correspond à des petites surfaces (20 mètres carrés). Pour des surfaces plus importantes, comme celle des bureaux (430 mètres carrés), le pourcentage d'écart est seulement de 0,1%.

Tableau 3 : SUB du plateau d'entreprise à Sèvres par la méthode de balayage en une seule session.

	Plan BLK-To-Go	Plan RTC360	Ecart	Pourcentage
Bureaux	431,89 m ²	431,46 m ²	0,43 m ²	0,1 %
Couloirs, paliers	93,50 m ²	93,83 m ²	0,33 m ²	0,35 %
Locaux techniques	11,77 m ²	11,70 m ²	0,07 m ²	0,56 %
Sanitaires	20,21 m ²	20,08 m ²	0,13 m ²	0,66 %

Le tableau 4 correspond aux SUB calculées à partir du nuage de la méthode en différentes sessions de balayage. Comme la comparaison précédente, nous allons étudier les écarts avec la référence, qui sont plus importants que les écarts globaux obtenus en calculant la SDP. Avec cette méthode au maximum il y a 0,28% d'écart entre la zone des couloirs (94 mètres carrés) et la référence. Pour la plus grande surface, les bureaux (431 mètres carrés), le pourcentage des écarts est de seulement 0,09%.

Tableau 4: SUB du plateau d'entreprise à Sèvres par la méthode de balayage en plusieurs sessions.

	Plan BLK-To-Go	Plan RTC360	Ecart	Pourcentage
Bureaux	431,84 m ²	431,46 m ²	0,38 m ²	0,09 %
Couloirs, paliers	94,09 m ²	93,83 m ²	0,26 m ²	0,28 %
Locaux techniques	11,72 m ²	11,70 m ²	0,01 m ²	0,13 %
Sanitaires	20,12 m ²	20,08 m ²	0,04 m ²	0,22 %

Pour ce chantier nous obtenons des écarts entre la référence et les deux méthodes de lever. De ces deux méthodes de balayage, la méthode en différentes session est celle qui possède le moins d'écart des surfaces avec la référence.

D'une manière plus globale, les pourcentages d'écart dans les deux méthodes sont dans la tolérance de Gexpertise qui est de 1% d'écart concernant les mesures des surfaces de ce type de chantier.

III.2.2.3.2 Grand magasin

Pour le grand magasin, le travail de comparaison de surfaces a été réalisé sur les deux étages des locaux servant aux employés (l'étage 1 et l'étage 2). La méthodologie de comparaison est la même que celle utilisée pour le plateau d'entreprise à Sèvres. Pour ce chantier il y a eu un seul passage du BLK-To-Go, celui en différentes sessions de balayage. L'étude portera là encore sur les SUB et SDP de ce passage.

Le tableau 5 compare les SDP des deux étages aux mesures de référence et affiche les écarts surfaciques en valeur absolue et en pourcentages.

Pour les deux étages, nous n'avons pas les mêmes surfaces car l'étage 1 se situe au-dessus de l'entrée du magasin, ce qui fait qu'il y a très peu de locaux. L'étage 2 est environ 4 fois plus grand que l'étage 1. Concernant les écarts de surface, c'est l'étage 2 qui possède

le plus d'écart avec la référence (0,61 mètres carrés pour l'étage 2 contre 0,50 mètres carrés pour l'étage 1). Pour l'étage 1, nous avons 0,39% d'écart avec la référence (sur une surface totale de 125 mètres carrés). Pour l'étage 2, nous avons 0,12% d'écart avec la référence (sur une surface totale de 510 mètres carrés). Par la suite, la comparaison des SUB devrait nous donner plus d'informations sur l'origine de ces écarts et leur répartition par typologie de locaux.

Tableau 5 : SDP du grand magasin.

	BLK-To-Go	Plan au 100 ^{ième}	Ecart	Pourcentage
Etage 2	510,60 m ²	511,21 m ²	0,61 m ²	0,12%
Etage 1	125,78 m ²	126,28 m ²	0,50 m ²	0,39%

Pour les SUB, les tableaux 6 et 7 présentent les écarts entre les surfaces pour les différentes pièces des deux étages. Dans cette comparaison, comme les surfaces sont différentes selon les types de pièces, nous allons nous préoccuper principalement des pourcentages d'écart.

Le tableau 6 correspond aux SUB calculées pour les pièces de l'étage 2. Pour cet étage, l'écart le plus important est de 1%. Cet écart apparaît pour une catégorie de surface totale de 99 mètres carrés soit un écart en valeur absolue d'1 mètre carré. Pour les autres catégories mesurant environ 100 mètres carrés chacune, les écarts sont de 0,50% en moyenne.

Tableau 6 : SUB du grand magasin, étage 2.

	Plan BLK-To-Go	Plan 100 ^{ième}	Ecart	Pourcentage
Bureaux	162,83 m ²	161,82 m ²	1,01 m ²	0,62%
Vestiaires et sanitaires	122,96 m ²	123,21 m ²	0,25 m ²	0,20%
Salle à manger	99,10 m ²	98,10 m ²	1,00 m ²	1,02%
Couloirs, paliers	95,92 m ²	96,65 m ²	0,73 m ²	0,75%

Le tableau 7 correspond aux SUB calculées à partir du nuage levé à l'étage 1. Comme la comparaison précédente, nous allons étudier les écarts des surfaces des pièces avec celles de référence. Par cette méthode, nous avons un écart de surface maximal pour les couloirs de 0,53% (sur un total de 22 mètres carrés) et pour les bureaux de 0,45% (sur un total de 97 mètres carrés).

Tableau 7 : SUB du grand magasin concernant l'étage 1.

	Plan BLK-To-Go	Plan 100 ^{ième}	Ecart	Pourcentage
Paliers, couloirs	22,74 m ²	22,62 m ²	0,12 m ²	0,53%
Bureaux	97,08 m ²	97,52 m ²	0,44 m ²	0,45%

Pour ce chantier, les écarts sont sensiblement similaires entre les deux étages, car pour les bureaux nous avons respectivement 0,50% et 0,60% d'écart avec la référence.

Ces écarts de mesure des surfaces dans les étages, proches du 1%, restent dans la tolérance de Gexperise pour ce type d'environnement.

III.2.2.3.3 Conclusion

Sur les chantiers levés avec le BLK-To-Go, le décalage observé entre les plans et le nuage se propage dans le nuage, c'est-à-dire que le décalage est présent dans tous les murs de la pièce. La comparaison surfacique montre que pour les plans au 1/100^{ième}, les écarts levés restent dans la tolérance de Gexpertise (1%).

Des deux méthodes de mesure à l'aide du BLK-To-Go, c'est celle du lever en différentes sessions de balayage qui possède le moins d'écart avec la référence. Mais les deux méthodes restent tout de même dans la tolérance de l'entreprise. Cette tolérance est d'environ 1% mais n'est pas figée, et peut varier selon la surface globale de l'ensemble.

Si cet appareil avait besoin d'être utilisé pour des levés d'appartements en immeuble, il serait nécessaire d'effectuer des tests dans des ensembles plus grands, par exemple un immeuble de 1 000 mètres carrés. Un écart alors de 1 % sur un tel ensemble correspondrait à 10 mètres carrés, ce qui commence à être conséquent.

III.3 Synthèse des résultats

Les premiers cas d'études présentés précédemment ([17], [18]) nous ont permis de mettre en place une méthodologie d'utilisation comprenant le lever et le traitement des données. Ces études ont aussi permis de mieux appréhender l'appareil pour nos tests suivants.

La comparaison nuage à nuage a permis de mettre en évidence que le BLK-To-Go et le NavVis VLX sont, dans les solutions dynamiques étudiées, ceux qui possèdent le moins d'écart avec le nuage de points de la référence.

Pour la mise en place d'un lever, avec le NavVis VLX, il faut, au préalable, mettre en place un cheminement de cibles au sol afin d'obtenir un nuage bien déterminé et atteindre la précision annoncée par le constructeur (précision relative de 8 millimètres). Alors que pour le BLK-To-Go, on a besoin d'aucun protocole préalable pour effectuer un lever tout en obtenant les précisions spécifiées par le constructeur (6 à 15 millimètres en précision relative).

L'étude des coupes des nuages a permis d'évaluer la capacité de dessiner des plans sur les nuages avec le moins d'estimations possible. La solution qui permet le moins d'approximations est le NavVis VLX (bruit de 1 centimètre). Quant au BLK-To-Go, son bruit de mesure est de 2 centimètres, ce qui amène à des estimations conséquentes au niveau du dessin.

Dans la suite des traitements, nous nous sommes focalisés sur le BLK-To-Go, car son bruit est de 2 centimètres. L'objectif est d'évaluer l'appareil pour les différents types de chantiers pour lesquels Gexpertise souhaiterait l'utiliser.

Les études ont montré que faire des levers en extérieur sans réaliser de boucles intermédiaires amène à une dérive dans le nuage allant jusqu'à 20 centimètres. Pour un lever en intérieur, dans un grand ensemble (espace de vente d'un magasin avec une grande hauteur sous plafond et de nombreux éléments de détails), la dérive dans le nuage a créé un décalage allant jusqu'à 64 centimètres, correspondant à une dérive. Le lever a été réalisé sans effectuer de boucles intermédiaires. Nous en avons conclu que l'appareil n'est pas adapté à ce type d'espace, si on réalise un protocole sans boucles intermédiaires.

Enfin comme dernière étude avec le BLK-To-Go, nous avons évalué les nuages de points en calculant les surfaces SDP et SUB. Pour cela, les plans ont été dessinés à partir du

nuage de points et sur ces plans, les surfaces calculées, sont comparées avec les surfaces de référence. Les écarts restent dans la tolérance acceptable par Gexpertise (inférieurs ou égaux à 1%) pour les chantiers réalisés (locaux d'entreprise, locaux du personnel d'un grand magasin et pour un plateau d'entreprise).

Mais pour s'assurer que la méthode est fiable et être certain que l'appareil est efficace pour le calcul de ces surfaces, il est nécessaire d'avoir plus de données, par exemple, un lever pour un bâtiment s'élevant sur plusieurs étages, à usage soit d'habitation, soit de logement. Cela permettrait de vérifier si les écarts restent constants. Le problème des surfaces importantes est qu'un faible pourcentage de différence de l'ordre d'1%, engendre des différences conséquentes en valeur absolue. Toutefois, ce qui fait la force du BLK-To-Go pour le calcul des surfaces, est qu'il n'a pas besoin de beaucoup d'éléments (cibles) pour effectuer le lever et peut donc être manipulé par une seule personne.

En conclusion, le BLK-To-Go reste une solution dynamique adaptée pour les levés d'intérieurs, mais n'est pas la solution « miracle », avec un potentiel très limité en extérieur. Les chantiers ciblés sont les levés d'appartements ou des bureaux d'entreprise. Les différents protocoles mis en place pour le lever ont montré que la précision peut être réduite en fonction de la manière de lever, et la méthode retenue est celle de réaliser différentes sessions de balayages. Un problème a été soulevé lors de la manipulation de cet appareil : le géoréférencement n'est pas fiable. Pour y remédier, il est possible de combiner nos balayages issus du scanner dynamique avec des balayages issus de scanners statiques pour mesurer, par exemple, l'enveloppe extérieure d'un bâtiment quand l'intérieur sera effectué à l'aide du BLK-To-Go.

III.4 Construction de la méthodologie d'utilisation du BLK-To-Go

Après avoir testé l'appareil selon différents protocoles, celui décrit en annexe 5 a ainsi été construit et retenu pour réaliser un chantier de lever.

L'appareil est adapté aux chantiers en intérieur, plus spécialement pour les appartements ou les bureaux. Cependant les espaces avec lesquels il est possible d'avoir des erreurs sont ceux de type entrepôt ou parking, car on y trouve beaucoup de hauteur sous plafond, des éléments de vide et très peu d'amers.

La méthode d'utilisation du BLK-To-Go retenue est, pour un chantier, le passage en différentes sessions de balayage. Cette méthode ressemble à celle utilisée avec les scanners statiques. Cette méthode a été retenue car elle possède le moins d'écart avec les solutions de référence. Elle consiste à lever les différentes pièces de l'ensemble en plusieurs sessions de balayage, tout en gardant une zone de recouvrement entre les différentes pièces (couloirs).

Durant la phase de lever, il y a des attitudes à avoir quand on utilise cet appareil. Par exemple, respecter des temps de pause durant le lever. Cela permet à l'appareil de densifier son nuage de points. Pour le passage de paliers de porte la pause est essentielle, car elle permet au système de modéliser le début de la pièce suivante. Pour garder un lien avec la pièce précédente, il faut passer la porte de côté. Pour les escaliers et les pentes qu'elles soient douces ou non, s'arrêter de temps en temps, permet aussi au système d'avoir un nuage de points plus dense et de lui permettre de mieux corriger les erreurs liées au changement d'altitude. Marquer des pauses durant le lever permet de réduire les potentielles erreurs de l'appareil.

Des boucles de 3 à 4 minutes sont recommandées, car au-delà de cette durée, la dérive de la centrale IMU commence à être importante. Réaliser des boucles où l'on revient à la position initiale (boucles en O) est préconisé, plutôt que des boucles effectuées par aller-retour (boucles en U). Les boucles en O permettent de visualiser les erreurs entre le début et la fin du lever, alors que pour les boucles en U, on mesure de façon trop rapprochée et répétée la même zone, ce qui peut créer une propagation d'erreur.

Le BLK-To-Go est un appareil facile d'utilisation, mais ce dernier nécessite d'avoir une certaine attitude et de respecter le protocole pour ne pas avoir d'erreurs à la suite de nos levers.

Conclusion

Il est important pour les entreprises de géomètres, afin de maintenir leur compétitivité, de s'intéresser et d'investir dans les méthodes innovantes. Les scanners dynamiques sont des nouveaux outils pour la cartographie d'intérieur.

Après avoir étudié le fonctionnement des scanners dynamiques les applications et les outils (LiDAR, centrale IMU, SLAM), des protocoles ont été mis en place pour évaluer la précision du BLK-To-Go. Ces protocoles ont été ajustés grâce aux conseils des commerciaux de Leica et des professionnels l'ayant déjà utilisé.

Les protocoles mis en œuvre ont permis de mettre à l'épreuve l'appareil et donc de tester les algorithmes corrigeant les erreurs issues des différents capteurs. Ces protocoles ont permis d'identifier les chantiers qui pourront être réalisés au sein de Gexpertise avec cet outil. Après avoir utilisé l'appareil sur différents chantiers et après l'avoir comparé aux solutions de référence, une analyse a été mise en œuvre visant à étudier la précision et la qualité des nuages de points issus de cet appareil et comparer cette solution avec d'autres solutions dynamiques. A la suite de ces analyses et de ces comparaisons, deux solutions sortent du lot : ce sont le NavVis VLX et le BLK-To-Go, avec des écarts allant de 1 à 2 centimètres avec la solution de référence. Pour les départager, nous avons évalué leur facilité d'utilisation sur le terrain. Le BLK-To-Go se suffit à lui-même, car, contrairement au NavVis VLX, il n'a pas besoin que l'on mette en place des cibles avant le lever. Les cibles sont utiles pour le NavVis VLX pour obtenir un nuage bien mieux déterminé et obtenir la précision annoncée par le constructeur (précision relative de 8 millimètres).

Le BLK-To-Go, malgré un bruit de 2 centimètres, est adapté pour réaliser les chantiers en intérieur. Ses nuages de points peuvent facilement être assemblés avec ceux d'autres appareils de la marque Leica. Ceci est un avantage pour Gexpertise car son objectif est d'être équipé à l'avenir à 100% par Leica. La mise en place de la méthode de consolidation, nuage à nuage dans le protocole de lever et dans les calculs en post-traitement, permet d'éviter que les erreurs liées à la centrale inertielle interfèrent durant la phase de mesure. De plus cette méthode permet d'obtenir un contrôle sur le traitement des données, ce qui est important et essentiel pour des cabinets de géomètres.

Les chantiers réalisables par le BLK-To-Go sont les levers d'appartements, de locaux d'entreprise ou de bureaux (espaces restreints). Il n'est pas adapté pour les grands espaces bâtis (les environnements neutres : entrepôts, espaces de vente de magasin, ...), ni pour les

environnements en extérieur. Le BLK-To-Go, n'est pas capable d'assurer une précision pour des plans à l'échelle 1/50^{ième}, à cause du bruit de la mesure qui est de deux centimètres qui créer trop d'approximations et des résultats des traitements. Il semble adapté pour réaliser des plans simplifiés, mais nécessite encore quelques tests, par exemple dans des immeubles complexes, sur des surfaces globales bien plus importantes que les levés réalisés dans cette étude (3 000 mètres carrés) et sur plusieurs étages. Ces tests vont montrer si le BLK-To-Go est un appareil fiable et si le protocole de lever en différentes sessions de balayage est le protocole permettant d'utiliser l'appareil à son plein potentiel.

Bibliographie

- [1] [Cherdo L]. 07/12/2020. *Scanners 3D dynamiques (SLAM) et cartographie mobile : guide complet*. Disponible en ligne <<https://www.aniwaa.fr/guide-achat/scanners-3d/scanners-3d-slam-cartographie-mobile-interieure/>> (consulté le 09/03/2021).
- [2] [M. Numes, 2014]. *Étude d'un système de type « Mobile Mapping Scanning » et mise en œuvre d'une procédure de calibration*. TFE, ESGT, Le Mans, 58p. Disponible sur <<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01179403>>. (consulté le 15/03/2021).
- [3] [C. Cadena and L. Carlone and H. Carrillo and Y. Latif and D. Scaramuzza and J. Neira and I. Reid and J.J. Leonard]. *Past, Present, and Future of Simultaneous Localization And Mapping: Towards the Robust-Perception Age*. In IEEE Transactions on Robotics 32 (6) pp 1309-1332, 2016. Disponible sur <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7747236/>>. (consulté le 24/03/2021).
- [4] [F. Chanier, 2010]. *Localisation et cartographie simultanées de l'environnement à bord de véhicules autonomes : analyse de solutions fondées sur le filtrage de Kalman. Automatique/Robotique*. Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II, 2010. Français. NNT:2010CLF22021. tel-00719341. Disponible sur <<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00719341>>. (consulté le 05/03/2021).
- [5] [Leica Geosystems]. *REGISTER 360 Cloud Generation setting*. Consulté le 01/07/2021. Document commercial.
- [6] [M. Al Shawa]. *Consolidation des nuages de points en lasergrammétrie terrestre, nouvelle approche basée sur les entités linéaires*. INSA de Strasbourg. Consulté le 01/07/2021.
- [7] [Leica Geosystems]. *Leica Geosystems TLS vs. Trimble X7 Comparaison based on product announcement*. Consulté le 02/07/2021. Document commercial
- [8] [Kasser, M, Mayo, M, Houdry, B]. *Scanners laser mobiles Les solutions récentes : Un nouveau virage pour les géomètres*. 03-2021. Revue Géomètre, n°2189.

- [9] [Leica Geosystems]. *LEICA BLK-TO-GO REALITY CAPTURE. HANDHELD.*
- [10] [Burrows P]. 03/03/2020. *Five Things to Know When Choosing a Mobile or Terrestrial Laser Scanner.* Disponible en ligne <<https://shop.leica-geosystems.com/blog/five-things-know-when-choosing-mobile-or-terrestrial-laser-scanner>> (consulté le 09/03/2021).
- [11] *Reality Capture. Handheld. BLK-TO-GO Best Practice.* Consulté le 12/03/2021 Revue Hexagon.
- [12] *How to evaluate the accuracy of an indoor mobile 3D scanning system* (Focus sur le NavVis VLX). 11-2019. Revue NavVis.
- [13] *How to evaluate the accuracy of an indoor mobile 3D scanning system* (Focus sur le NavVis M6). 11-2019. Revue NavVis.
- [14] [Leica BLK]. *Intro to Scanning with BLK-TO-GO.* Disponible en ligne <<https://www.youtube.com/watch?v=gp0aB7pDxVs>> (consulté le 06/04/2021).
- [15] [Leica BLK]. *Intro to BLK-TO-GO Processing.* Disponible en ligne <https://www.youtube.com/watch?v=9Pxt_DdVjAY> (consulté le 06/04/2021).
- [16] [J. Viot, R. Sommero]. Entretien avec des commerciaux de Leica et de la société Capture Solution
- [17] [M. Limongiello, D. Ronchi, V. Albano, 2020]. 23/10/2020. *BLK-TO-GO for DTM generation in highly vegetated area for detecting and documenting archaeological earthwork anomalies.* (consulté le 15/03/2021).
- [18] [G. Piniotis, S. Soile, F. Bourexis, M. Tsakiri, C. Ioannidis, 2020]. *EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF 3D NARROW SPACE MAPPING TECHNOLOGIES.* Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLIII-B2-2020, 149–156, <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-149-2020>> (consulté le 15/03/2021)

[19] [Dollard C]. 20/01/2021. *BLK-TO-GO and Cromwell Speeds Up Construction for Patient Care Facilities at UAMS Medical Center*. Disponible en ligne <<https://shop.leica-geosystems.com/blog/BLK-To-Go-and-cromwell-speeds-construction-safely>> (consulté le 09/03/2021).

[20] Circulaire du 3 Février 2012 relative au respect des modalités de calcul de la surface de plancher des constructions définie par le livre I du code de l'urbanisme. Disponible en ligne <<https://www.legifrance.gouv.fr/circulaire/id/34719>> (consulté le 16/07/2021).

[21] [Association du Comité de la Charte de l'Expertise en Evaluation Immobilière (CACEEI)] *CHARTRE DE L'EXPERTISE EN ÉVALUATION IMMOBILIÈRE* 5^{ème} édition, Mars 2017.

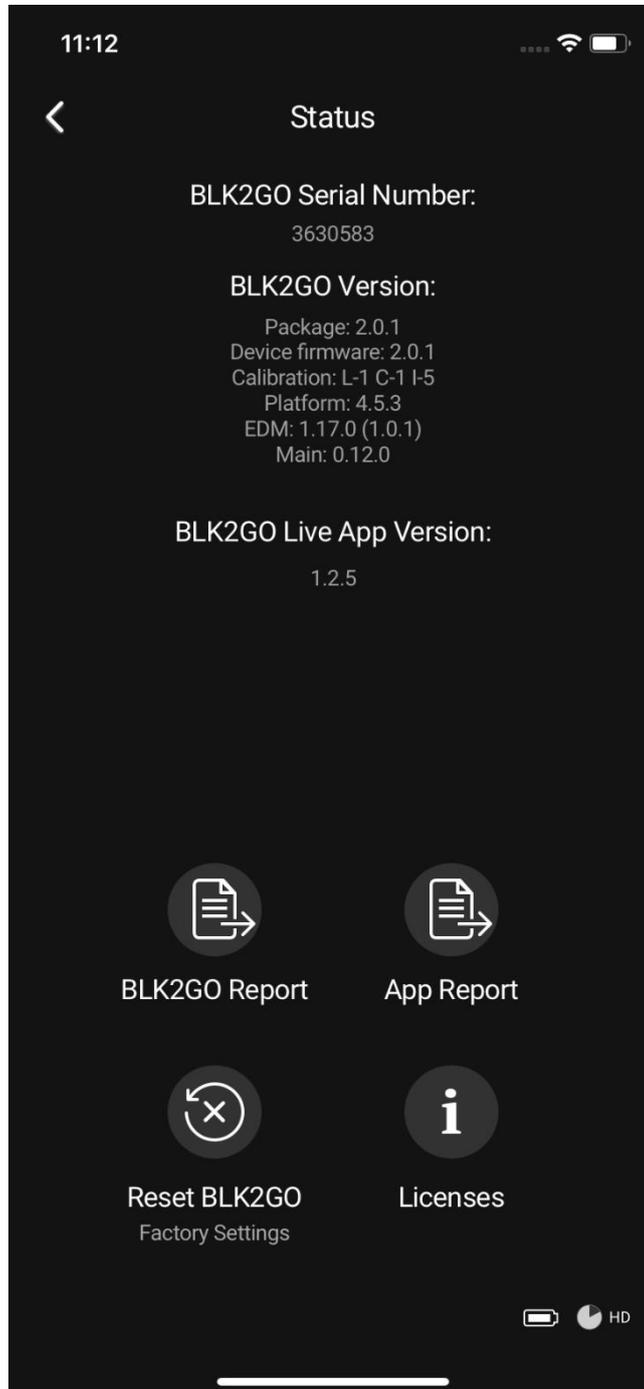
[22] [Visine A]. *Les surfaces et l'expertise immobilière* Disponible en ligne <<https://www.expertise-immobiliere-aquitaine.fr/b/les-surfaces-et-lexpertise-immobiliere>> (consulté le 18/06/2021).

Table des annexes

Annexe 1 Version du Firmware (logiciel interne) du BLK-To-Go utilisé lors des différents tests.	65
Annexe 2 Extrait du rapport de l'étude du BLK-To-Go dans un espace restreint.	66
Annexe 3 Plan de l'étage 2 du grand magasin.	67
Annexe 4 Coupes dans les nuages de points des différentes solutions dynamiques.	68
Annexe 5 Capture d'écran du cheminement réalisé dans l'espace de vente pour le chantier du grand magasin.	69
Annexe 6 Protocole du BLK-To-Go mis en place après avoir étudié l'appareil et à la suite de nos différents tests.	73

Annexe 1

Version du Firmware (logiciel interne) du BLK-To-Go utilisé lors des différents tests.



Annexe 2

Extrait du rapport de l'étude du BLK-To-Go dans un espace restreint.

geometrically (this was performed in Polyworks software). It should be emphasised that the target centre determination is affected by the number of the selected points and has a direct influence on the results.

The Matterport cloud could not depict the photogrammetric test field, as is discussed in section 4.3, and thus the specific system was not considered for this assessment. Similar procedure was followed for the EDM calibration baseline where the horizontal distances between the pillars were measured in both the BLK2GO and Matterport clouds. The mean differences from the truth with the associated standard deviations are given in Table 1 (units in metres).

Table 1. Statistics on distance comparisons

	BLK2GO		MATTERPORT	
	mean	std.dev.	mean	std.dev.
EDM baseline	0.002	0.013	0.026	0.027
Test field	0.006	0.004	-	-

On the contrary, when the height differences of the survey pillars were estimated on the two point clouds, it was found that the mean differences vary between 8mm-20mm for the BLK2GO cloud whilst the differences are only at the 4mm-6mm level for the Matterport data. This can be attributed to the fact that the quality of the Matterport data is better for defining the geometric features of the object clearer by tracing exact polylines using a skilled operator, compared to the BLK2GO data which are sparser (Fig. 10a, b). The height plane was then defined in each segment on the top of the traced polylines (Fig. 10c). It was verified also that these data have different structure and density, which in turn may lead to some problems with clouds orientation.

Capture d'écran présentant les écarts entre le nuage des solutions dynamiques testées et la vérité terrain. La vraie hauteur des piliers correspondant à la vérité terrain, elle a été mesurée avant la réalisation des tests. Source [18].

Annexe 3

Plan de l'étage 2 du grand magasin.



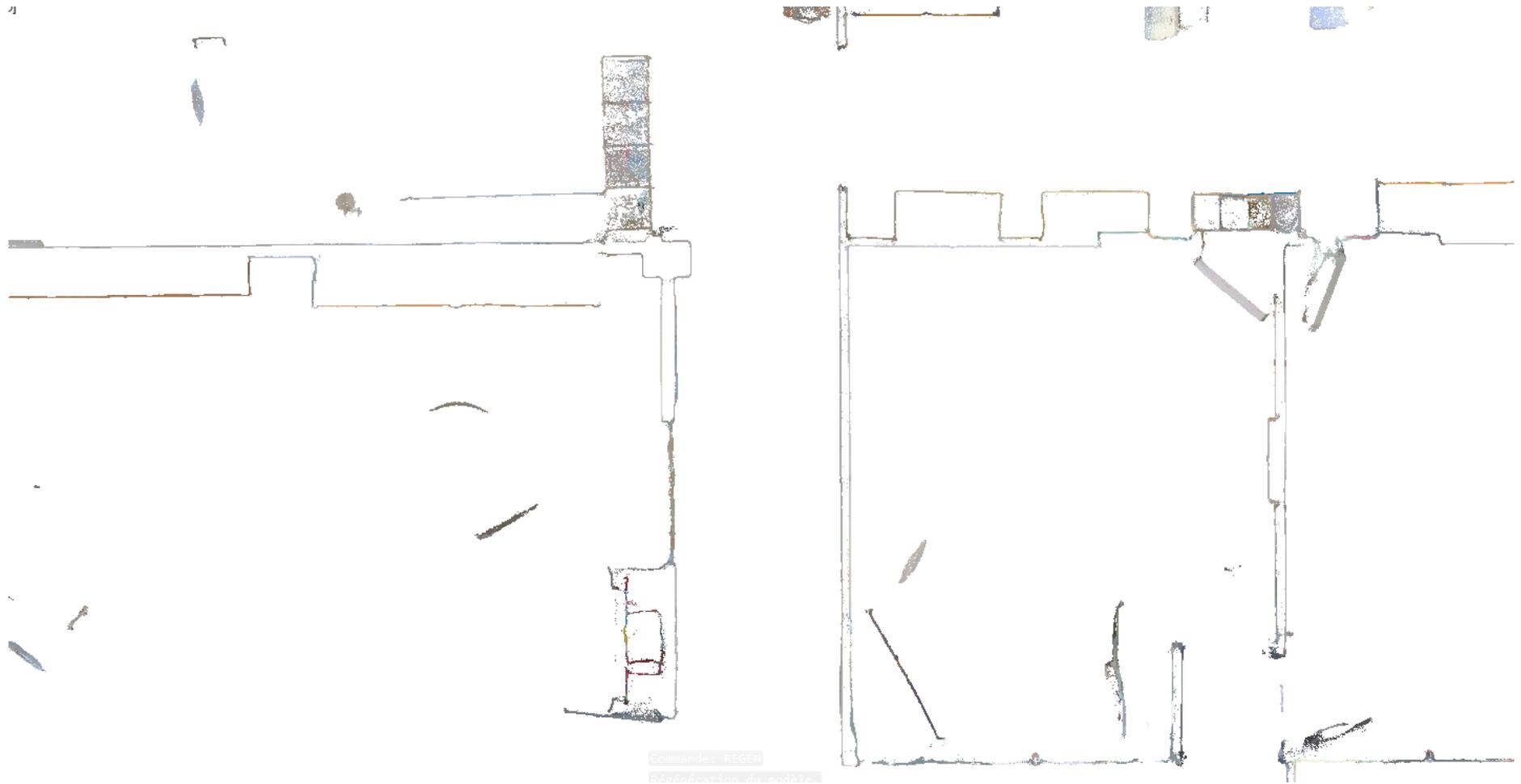
Coupe du nuage de points réalisé au BLK-To-Go de l'étage 2 des locaux du grand magasin, avec en rouge la position du couloir commun à toutes les salles. Par cette configuration des lieux, il était impossible de réaliser un cheminement fermé, c'est pourquoi le cheminement de lever était en antenne.

Annexe 4

Coupes dans les nuages de points des différentes solutions dynamiques



Nuage issu du scanner dynamique NavVis M6. Sur cette coupe, en plus du bruit de la mesure de 1 cm, on observe les murs qui ne sont pas droits (« vagues ») ainsi que les angles des murs et des cloisons qui sont arrondis. Ce nuage oblige le dessinateur à beaucoup d'approximations pour réaliser les plans de cet intérieur.



Nuage issu du scanner dynamique NavVis VLX. Sur cette coupe, le bruit de la mesure est de 1 cm. Les murs sont droits et le phénomène d'angles arrondis y est faible. Il y aura donc peu d'estimations de la part du dessinateur pour réaliser des plans de cet intérieur.



Nuage issu du scanner dynamique Viametris BMS3D. Sur cette coupe, en plus du bruit de la mesure qui est de 2 cm, on visualise bien les murs qui ne sont pas droits (« vagues ») et les angles des murs et des cloisons qui sont arrondis. Ce nuage laisse beaucoup d'approximations de la part d'un dessinateur pour réaliser des plans de cet intérieur.



Nuage issu du scanner dynamique BLK-To-Go. Sur cette coupe en plus du bruit de la mesure qui est de 2 cm, les murs sont droits et les phénomènes d'angle arrondis faibles, permet peu d'estimations de la part du dessinateur pour réaliser des plans de cet intérieur, la seule estimation se situe au niveau du bruit de la mesure qui est le double de celui du NavVis VLX.

Annexe 5

Capture d'écran du cheminement réalisé dans l'espace de vente pour le chantier du grand magasin.



Cheminement réalisé pour lever l'espace de vente. Le chemin suivi est parti du « Début » et a suivi le chemin allant du 1 au 9.

Annexe 6

Protocole du BLK-To-Go mis en place après avoir étudié l'appareil et à la suite de nos différents tests



Accompagner | Modéliser | Garantir

Protocole expérimental BLK-To-Go

I- Prestations concernées

Les chantiers concernés sont des levés d'intérieur de type appartements et bureaux.

II- Opérations terrain

Premier passage sur le terrain

Visite des lieux sans l'appareil pour identifier :

- Les éléments importants à relever.
- Référencer les obstacles (escaliers, couloirs, pente).
- Planifier le cheminement :
 - o Réfléchir aux zones communes entre les différentes pièces pour avoir un recouvrement suffisant entre les différentes sessions de balayages.
 - o Si la configuration des lieux le permet, effectuer un cheminement en boucle fermée.
- Opérations à réaliser :
 - o Ouvrir toutes les portes.
 - o Si nous sommes dans un environnement pauvre (murs et surfaces lisses sans éléments de détails), positionner des objets au sol (la mallette d'appareil et du mobilier) pour créer des éléments irréguliers.
- Si géoréférencement est demandé positionner des cibles sur les murs.

Réflexes terrain :

- Transition lente entre les changements de pièces avec un temps d'arrêt et faire un demi-tour sur soi-même au niveau du palier de chaque porte.
- Pour le passage de portes passer de profil l'appareil en mains.
- Pour balayer les cibles faire des petits mouvements lents face à une cible pendant 1 minute.



GEXPERTISE

Accompagner | Modéliser | Garantir

- Eviter de faire des sessions de balayages de plus de 3 minutes.
- Si session plus longue que 3 minutes faire des boucles.
- Privilégier les boucles en O plutôt qu'en U.
- Faire des virages lents et larges.
- Marquer un temps de pause dans les zones de recouvrement.
- Tenir l'appareil à l'opposé d'objets en mouvements ou de miroirs.
- Circuler très lentement dans les escaliers et pentes, marquer un temps de pose avant et après l'obstacle.
- Tenir l'appareil au-dessus de la tête pour les environnements difficiles.
- Prendre des photos de chaque pièce et des éléments complexes ou caractéristiques de l'environnement.
- Marquer des pauses de temps en temps.



Manière de tenir l'appareil et le téléphone

Etape pour utiliser l'appareil :

- 1- Allumer l'appareil (pression longue sur le bouton jusqu'à allumage du bandeau de LED jaune clignotant).
- 2- Allumer le téléphone ou la tablette et ouvrir l'application « BLK-To-Go Live ».
- 3- Lorsque le bandeau LED de l'appareil est vert continu, connecter l'application avec l'appareil.
- 4- Poser l'appareil sur sa base.
- 5- Pression courte sur le bouton de l'appareil tenir fermement l'appareil jusqu'à ce que la LED ait fini de clignoter jaune.
- 6- La LED vert clignotant signifie que l'appareil enregistre les données, le nuage se construit en temps réel sur l'application.
- 7- Commencer le levé de l'environnement en respectant les réflexes terrains.
- 8- Pour les photographies effectuer une pression courte sur le bouton le bandeau LED va clignoter en vert et la photo va s'afficher sur l'application.
- 9- A la fin de la session de balayage, pression longue pour stopper la session, le bandeau LED vas devenir jaune clignotant.
- 10- Renommer sur le téléphone le nom des différentes sessions de balayages.



Bouton unique de l'appareil



Etape 4



Etape 5

III- Traitement bureau

Etapes pour vider et lire les données :

- 1- Ouvrir le cache de batterie, retirer la batterie, branchez-y le câble.
- 2- Brancher le BLK-To-Go à l'ordinateur.
- 3- Ouvrir le logiciel BLK Data Manager.
- 4- Sélectionner les fichiers et cliquer du « Download ».
- 5- Sortir les données qui se trouvent au format « .b2g ».
- 6- Cliquer déposer les fichiers précédemment téléchargés dans le logiciel REGISTER 360.



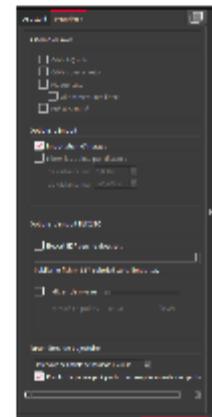
Cache de batterie vide pour brancher le câble.

- 7- Pour le paramétrage du logiciel REGISTER 360, cocher les options suivantes :
 - a. Importation d'images.
 - b. Points de passage à partir des emplacements de geotags.
 - c. Intervalle des points de passage faire varier de 5 à 10 mètres selon la taille du chantier (ne pas descendre en dessous des 5 mètres).
 - i. Cette option permet de créer des « bulles » de visualisation à l'intérieur du nuage.



Logiciel BLK Data Manager.

- 8- Une fois ces options sélectionnées cliquer sur le bouton  « Importer »,
- 9- Assembler les différentes sessions de balayages comme si on traitait un nuage de points issu d'un scanner statique.



Paramétrage REGISTER 360.



GEXPERTISE

Accompagner | Modéliser | Garantir

Etapes pour géoréférencer le nuage :

- 1- Afficher les images panoramiques.
- 2- Repérer les cibles.
- 3- Pour chaque cible :
 - a. Utiliser l'outil boîte de limites pour isoler la cible (ne pas avoir de points derrière la cible).
 - b. Avec l'outil  Nouvelle cible virtuelle « Nouvelle cible virtuelle » cliquer le centre de la cible et la renommer du matricule utilisé pour le géoréférencement.

Liste des figures

Figure 1 : SLAM phase initiale (a). Source [4]	12
Figure 2 : SLAM phase prédictive (b). Source [4]	12
Figure 3 : SLAM phase d'acquisition et d'association (c). Source [4]	12
Figure 4 : SLAM phase d'estimation (d). Source [4]	12
Figure 5 : BLK-To-Go sur sa base et le téléphone pour la visualisation du nuage. Source N. Amadiou.....	17
Figure 6 : Captures d'écran du téléphone permettant la visualisation du nuage en temps réel sur le terrain. Source N. Amadiou.....	18
Figure 7 : Capture d'écran du téléphone indiquant le changement de SLAM. Source N. Amadiou	21
Figure 8 : Photographie d'un environnement neutre, le SLAM visuel est plus robuste que le SLAM LiDAR. Source N. Amadiou	22
Figure 9 : Photographie d'un environnement complexe, le SLAM visuel est aussi, voire plus, robuste que le SLAM LiDAR. Source N. Amadiou	22
Figure 10 : Capture d'écran du logiciel Cyclone 3DR, donnant des informations sur les paramètres de la comparaison nuage à nuage. Source N. Amadiou	33
Figure 11 : Captures d'écran de la courbe modélisant la distance des nuage du BLK-To-Go, avec la référence. N. Amadiou	34
Figure 12 : Captures d'écran de la courbe modélisant la distance des nuages des solutions dynamiques avec la référence. Source N. Amadiou	38
Figure 13 : Capture d'écran de la superposition du nuage fait en plusieurs sessions de balayage et du plan dessiné à partir de la solution statique. Source N. Amadiou.....	40
Figure 14 : Capture d'écran de la superposition du nuage fait en une seule session de balayage et du plan dessiné à partir de la solution statique. Source N. Amadiou	41
Figure 15 : Capture d'écran de la coupe du nuage avec les écarts entre les éléments du décor scannés en double. Source N. Amadiou.....	43
Figure 16 : Capture d'écran du logiciel Autocad, vue horizontale du nuage de points de l'espace de vente. Source N. Amadiou	45
Figure 17 : Capture d'écran du logiciel Autocad du nuage de points des locaux de Gexpertise. Source N. Amadiou	45
Figure 18 : Capture d'écran du logiciel Autocad, vue horizontale du nuage de points de l'espace de vente. Source N. Amadiou	46
Figure 19 : Capture d'écran du rapport de la transformation d'Helmert. Source N. Amadiou	48
Figure 20 : Capture d'écran du logiciel Autocad, de l'écart entre le nuage de points et le plan au 1/100 ^{ième} choisi comme référence. Source N. Amadiou.....	49

Liste des tableaux

Tableau 1 : Tableau comparatif des caractéristiques des différentes solutions dynamiques.....	35
Tableau 2: SDP du plateau d'entreprise à Sèvres confrontant les deux méthodes de lever.	51
Tableau 3 : SUB du plateau d'entreprise à Sèvres par la méthode de balayage en une seule session.	52
Tableau 4: SUB du plateau d'entreprise à Sèvres par la méthode de balayage en plusieurs sessions.	53
Tableau 5 : SDP du grand magasin.....	54
Tableau 6 : SUB du grand magasin, étage 2.....	54
Tableau 7 : SUB du grand magasin concernant l'étage 1.	55

Etude comparative du système d'acquisition dynamique BLK-To-Go avec d'autres systèmes de cartographie mobile d'intérieur.

Mémoire d'Ingénieur C.N.A.M., Le Mans 2021

RESUME

Dans le domaine de la 3D, de plus en plus de scanners dynamiques se développent. Ils sont toujours plus perfectionnés, corrigeant les erreurs des appareils précédents ou apportant des solutions innovantes aux problèmes liés aux capteurs intégrés comme le nouveau système de SLAM visuel, le GRANDSLAM pour le BLK-To-Go.

Il est donc proposé une étude de la qualité des levés réalisés avec le BLK-To-Go, dans différents environnements en intérieur et une analyse des données. Cette étude permet de déterminer si l'appareil est utilisable pour des chantiers dans le cadre de dossiers de production dans l'entreprise Gexpertise. Dans ces travaux, le BLK-To-Go est comparé à d'autres solutions dynamiques de différentes marques (Viametris BMS3D, NavVis M6 et NavVis VLX). Des plans réalisés à l'aide de méthodes traditionnelles (tachéomètre et distancemètre) et du scanner statique de Leica (RTC360) sont utilisés comme référence. A la suite de ces études, un protocole expérimental a été mis en place pour l'utilisation de cet appareil pour les chantiers possibles.

Mots clés : Scanner laser dynamique, SLAM, GRANDSLAM, Leica, BLK-To-Go, lever d'intérieur, IMMS, Viametris BMS3D, NavVis M6, amers, NavVis VLX.

SUMMARY

In the field of 3D, more and more dynamic scanners are being developed. They are always more sophisticated, correcting the errors of previous devices or providing innovative solutions to problems related to integrated sensors such as the new visual SLAM system, the GRANDSLAM for the BLK-To-Go.

It is therefore proposed to study the quality of the surveys carried out with the BLK-To-Go, in different indoor environments and to analyze the data. This study allows to determine if the device is usable for work sites within the framework of production files in the Gexpertise company. In this work, the BLK-To-Go is compared to other dynamic solutions of different brands (Viametris BMS3D, NavVis M6 and NavVis VLX). Plans made with traditional methods (tachemeter and distance meter) and Leica's static scanner (RTC360) are used as reference. Following these studies, an experimental protocol was set up for the use of this device for possible construction sites.

Key words: Dynamic laser scanner, SLAM, GRANDSLAM, Leica, BLK-To-Go, indoor surveying, IMMS, Viametris BMS3D, NavVis M6, amers, NavVis VLX.