



Amélioration des techniques de relevé en milieu souterrain et espaces confinés

Léa Guerrier

► To cite this version:

Léa Guerrier. Amélioration des techniques de relevé en milieu souterrain et espaces confinés. Sciences de l'environnement. 2021. dumas-03649008

HAL Id: dumas-03649008

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03649008>

Submitted on 22 Apr 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 MÉTIERS
ÉCOLE SUPÉRIEURE DES GÉOMÈTRES ET TOPOGRAPHES

MÉMOIRE

Présenté en vue d'obtenir

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

Mention « Identification, Aménagement et gestion du Foncier »

Par

Léa GUERRIER

Amélioration des techniques de relevé en milieu souterrain et espaces confinés

Soutenu le 08/07/2021

JURY

PRÉSIDENT : Madame Élisabeth BOTREL

MEMBRES : Monsieur Christophe CHARLET
Monsieur Ghyslain FERRÉ
Monsieur Daniel VALENCIK
Madame Sophie LEBRAVE MALAQUIN

Professeur référent
Examineur
Maître de stage
Invitée

Remerciements

Avant de présenter mon mémoire, il me semble important de présenter et de remercier collègues et professeurs qui m'ont accompagnée dans le cadre de la rédaction de ce projet. Je suis arrivée dans le Groupe ATGT en 2013, j'ai grandi et mûri au sein de ce groupe qui m'a accueilli au cours de mes périodes de stages, d'alternance et de formation. J'ai évolué au cours du temps au travers des différents postes que j'ai occupés. Aujourd'hui, c'est bien plus qu'une entreprise et avec l'accord de mon maître de stage M. Valencik (Directeur d'agence, Géomètre expert), je souhaite poursuivre cette belle aventure en tant que collaboratrice du Groupe ATGT.

Je remercie M. Daniel Valencik qui a accepté d'être mon tuteur de stage au sein de l'agence de Clamart, il a été très présent et bienveillant. Soucieux de savoir si le TFE se passait de manière la plus agréable possible, il a toujours eu un regard objectif sur mes travaux.

Je remercie également M. Romain Salicis (Directeur général adjoint), qui lors de mes présences sur le site de l'agence de Bobigny a été l'homologue de Monsieur Valencik lors de prises de directions de mon mémoire.

J'adresse des remerciements particuliers à mes collègues de l'agence de Clamart ;

Madame Viviane Cerrone (Gestion des renseignements d'urbanisme), très disponible pour m'aider et qui m'a toujours donné son avis afin de bien construire ce mémoire.

Monsieur Pierre Bienvenue, qui m'a donné de précieux conseils et qui m'ont aidé et rassuré tout au long de ses mois de réflexions.

Je remercie Messieurs Maxime Lenormand, Nicolas Bodet et Romain Dubois (Techniciens niveaux 3), qui par leurs expériences en milieux confinés m'ont aiguillé au regard de leurs besoins. C'est en appréhendant les relevés en égouts avec eux que j'ai pu affiner toutes mes recherches techniques et c'est notamment pour simplifier leurs travaux que j'ai souhaité faire ce mémoire. Le travail en égout est très physique et très fatigant : ils font preuve quotidiennement d'efficacité et de précision lorsqu'ils y descendent.

Je remercie également Monsieur Christophe Charlet (Enseignant en topographie et professeur référent), pour s'être montré autant disponible et à mon écoute. Je me suis sentie épaulée et ses conseils m'ont beaucoup apporté. Je remercie également Madame Élisabeth Botrel (Maître de conférences Spécialité droit privé et professeur de Droit), qui s'est toujours montrée à l'écoute et bienveillante.

Enfin je n'oublie pas mes collègues du Groupe ATGT Sud Méditerranée qui m'ont accordé du temps et qui m'ont prêté les outils dont j'avais besoin pour avancer dans mon projet, mais aussi mes collègues du Groupe ATGT de l'agence de Bobigny pour leur patience et leur bonne humeur, les retrouvés quelque temps a été un plaisir, sans oublier Monsieur Antoine Billaut (Directeur technique du Groupe), pour m'avoir épaulé et aiguillé sur des outils et des logiciels qu'il était possible de mettre en place.

Liste des abréviations

CATEC : Certificat d’Aptitude au Travail en Espaces Confinés

CD92 : Conseil Départemental du Département des Hauts-de-Seine

DE : Direction de l’Eau (au sein du CD 92)

DEA : Direction des Eaux et de l’Assainissement (au sein du CD 93)

EPA : Établissement Public Administratif

EPI : Équipement de Protection individuelle

INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité

LIDAR : Light Detection And Ranging

MMS : Mobil Mapping Scanning MNT : Model Numérique de Terrain

MNS : Model Numérique de Surface

PC GAIA : Gestion assistée par l’Informatique de l’Assainissement (SEVESC)

PIC : Plan d’Intérieur compensé

SEVESC : Société des Eaux de Versailles et de Saint-Cloud (gestionnaire del’assainissement du CD 92)

SIAAP : Syndicat interdépartemental pour l’Assainissement de l’Agglomérationparisienne

SLAM : Simultaneous Localization And Mapping

TN : Terrain naturel

Glossaire

Aberration : donnée aberrante, anomalie

Accès : entrée dans un égout

Acquisition : session pendant laquelle de la donnée va être générée

Affleurant : émergence des réseaux au niveau du sol

Aplat : représentation en vue du dessus, une tranche faite le long de l'ovoïde

Arrivée : canalisation se déversant dans l'ovoïde

Boucle : cheminement commençant et terminant en un même point

Bruit : épaisseur de traits générée dans un nuage de points

Canalisation : conduit transportant un fluide

Coffre : accès allant du puits d'accès à l'ovoïde (sous-sol)

Couloir : synonyme de coffre

Curage : action de nettoyage des réseaux d'égouts

Dérive : aberration visuelle vue par technologie SLAM dû à la perte du signal du scanner

Descente : action de descendre en milieux confinés/intervention en égout

Descente de station : action de descendre les coordonnées tridimensionnelles d'un tampon dans le coffre pour rattacher le cheminement réalisé à l'aide d'un tachéomètre en sous-sol

Égout visitable : canalisation ou ovoïde d'une hauteur supérieure ou égale à 1,60 m

Entrée : synonyme de l'accès dans l'égout

Feuille d'assainissement : feuille type et croquis sur laquelle les cotes de descente de station vont être notées

Géobase : fichier de points généré par Covadis

Intervenant : Personne intervenant en espace confiné

Mappage : Style visuel de coloration d'un nuage de points

Montée : action de sortir de l'espace confiné

Nuage de points : semis de points 3D produit par une acquisition faite par scanner

Perte de suivi : arrêt de l'interprétation de l'espace par le scanner lors d'une acquisition

Point de chute : endroit dans un ouvrage d'assainissement où les eaux chutent

Plaque : couvercle d'une bouche d'égout

Radier : point le plus bas d'un ovoïde

Reconstruction : manipulation effectuée par les scanners mobiles ou logiciels lors du traitement des données et de la génération du nuage de points

Regard : puits d'accès à un égout

Saut à ski : Ouvrage d'assainissement spécifique permettant un rapide changement de niveau de l'ouvrage

Scan : diminutif de scanner/peut être utilisé comme synonyme d'acquisition

Sortie : canalisation sortante

Sous-sol : niveau des ouvrages en dessous du terrain naturel

Surface : niveau du terrain naturel

Surveillant : intervenant restant à l'extérieur lors d'opérations en milieux confinés

Tampon : synonyme plaques d'égout

Tranche : coupe fine faite dans un nuage de points afin de réduire son bruit et dessiner

Tronçon : portion d'ovoïde

Ventilation : action de ventiler un espace confiné pour réduire la présence de gaz

Voutes : plafond de l'ovoïde

Ouvrage : type de structure retrouvée en égout

Ovoïde : collecteur en forme d'œuf (ouvrage classique des réseaux d'égout)

Table des matières

REMERCIEMENTS	2
LISTE DES ABREVIATIONS	3
GLOSSAIRE	4
TABLE DES MATIERES	6
INTRODUCTION	8
I. LE CONTEXTE DE L'ETUDE	9
I.1 Les opérations en milieux confinés	9
I.1.1 Introduction	9
I.1.2 Les différents milieux confinés	9
I.1.3 Les égouts	10
I.1.4 Les différentes demandes et répartitions des opérations	10
I.2 Le C.A.T.E.C (certificat d'aptitude au travail en espaces confinés)	11
I.2.1 Préambule	11
I.2.2 Les différents risques en milieux confinés	11
I.2.3 Les démarches administratives	12
I.2.4 Le balisage et la mise en sécurité sur voirie	13
I.2.5 Procédure de mise en place de la sécurisation des descentes	13
I.3 Moyens d'acquisition 3D de la structure	13
I.3.1 Le Scanner mobile GALAXY T-1000	13
I.3.2 Le Scanner mobile OPTTECH Lynx SG-1 15	14
I.3.3 Le Scanner statique Faro	14
I.3.4 Le Scanner mobil PX 80	14
II. LA MISE EN ŒUVRE ACTUELLE A L'A.T.G.T	15
II.1 Relevé traditionnel d'un égout	15
II.1.1 Préparation de la mission	15
II.1.2 Mise en place de l'acquisition pour l'espace confiné	15
II.1.3 Rappel des différents rôles des techniciens	16
II.1.4 L'acquisition	16
II.1.5 Le géoréférencement	17
II.1.6 Le traitementCalculs en surface :	17
II.1.7 Conclusion	19
II.1.8 Les précisions	19
II.2 Optimisation d'une solution existante (PX80)	19
II.2.1 Présentation du PX80	19
II.2.2 Prise en main	20
II.2.3 Problématiques relevées par les techniciens	21
II.2.3.1 Les contraintes d'acquisition du PX80	21
II.2.3.2 Analyse technique du scanner PX 80	22
II.2.4 Application du PX80 sur différents types de relevés	22
II.2.4.1 Acquisitions	23
II.2.4.2 Traitement	24
II.2.4.3 Écarts	24
II.2.4.4 Conclusion	27
II.3 Amélioration des techniques d'utilisation du PX80	27
II.3.1 Amélioration de la phase d'acquisition	27
II.3.2 Amélioration de la méthode de traitement	28
II.3.3 Application sur les relevés types	29
II.3.3.1 Plan d'intérieur	29
II.3.3.2 Plan de façade	29
II.3.3.3 Plan de corps de rue	30
II.3.3.4 Plan de chambre hydraulique	31
II.3.4 Diminution des contraintes	31
II.4 Utilisation du PX80 pour le relevé d'égout	32
II.4.1 Scénarios d'utilisation conventionnelle	32
II.4.1.1 Acquisition	32

II.4.1.2	Analyse des nuages de points.....	33
II.4.2	Scénarios d'utilisation non conventionnels.....	33
II.4.2.1	Acquisitions.....	33
II.4.2.2	Analyse des nuages de points.....	34
II.4.3	Mise en place d'un éclairage.....	34
II.4.4	Conclusion.....	35
III.	RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT DES OUTILS D'ACQUISITIONS 3D.....	36
III.1	<i>Rédaction d'un cahier des charges répondant aux critères des espaces confinés et aux précisions recherchées</i>	36
III.1.1	Présentation de la société et des relevés en milieux confinés.....	36
III.1.2	État de l'art.....	36
III.1.3	Critères de sélection.....	36
III.2	<i>Analyse de scanner répondant au cahier des charges</i>	37
III.2.1	Tableau comparatif sommaire des différentes solutions(Annexe 38).....	37
III.2.2	Élimination de solutions ne répondant pas au cahier des charges.....	37
III.2.2.1	Scanner Faro Freestyle 2.....	38
III.2.2.2	Heron Lite color.....	38
III.2.3	Conclusion.....	39
III.3	<i>Étude de solutions choisies</i>	40
III.3.1	Le scanner Zeb Revo RT.....	40
III.3.1.1	L'acquisition test.....	40
III.3.1.2	Test complémentaire.....	42
III.3.1.3	Conclusion.....	46
III.3.2	Le scanner BLK 2go.....	47
III.3.2.1	L'acquisition test.....	47
III.3.2.2	Test complémentaire.....	50
III.3.2.3	Conclusion.....	53
III.4	<i>Bilan de l'ensemble de mes analyses de l'étude</i>	54
III.4.1	Bilan comparatif des trois solutions testées.....	54
III.4.2	Précision relative et précision absolue.....	56
III.4.3	Amélioration des techniques de relevé en milieu souterrain et espaces confinés.....	57
CONCLUSION		58
BIBLIOGRAPHIE		59
TABLES DES ANNEXES		61
LISTE DES FIGURES		105
LISTE DES TABLEAUX		106
RÉSUMÉ		107
SUMMARY		107

Introduction

Les espaces confinés présentent comme les milieux plus traditionnels, nécessité des interventions régulières, que ce soit pour des réparations, des réfections, des améliorations, des contrôles. Ces relevés en espaces confinés sont encadrés par des procédures administratives spécifiques à chaque type d'espace et à chaque intervention et une mise en œuvre difficile et un réel danger. La formation CATEC pour l'intervention en milieu confiné, les différents types de permis et l'observation très fréquente des conditions météorologiques pour réaliser nos descentes ou éviter les mises en danger des techniciens sont indispensables. Aujourd'hui, au sein de l'entreprise ATGT, les méthodes d'acquisition sont limitées. Le géoréférencement constitue aussi à lui seul une mise en place particulière que les techniciens de la structure d'accueil ont dû améliorer au fil des années (relevé 2D) : le rattachement nécessite une réflexion supplémentaire. La méthode traditionnelle a plus d'une fois fait ses preuves. Les techniciens s'assurent de travailler en sécurité, pour eux-mêmes, pour leurs collègues ainsi que pour les riverains. Au regard des évolutions technologiques, la réflexion porte sur la mise en œuvre d'une méthode d'acquisition nécessitant moins de manipulations et d'une acquisition plus rapide et tout en garantissant une meilleure sécurité et en diminuant la fatigue générée par le transport et la mise en place du matériel dans l'espace confiné. Aujourd'hui le développement de nouveaux types de scanners 3D connaît un essor considérable : de plus en plus performants, répondent aux émergences diverses et variées et balayent les contraintes fréquemment rencontrées. Ces nouveaux outils permettent d'étudier différents scanners afin d'analyser celui qui répondrait mieux aux demandes de la structure d'accueil ainsi qu'aux contraintes de la descente et des relevés en espaces confinés. Je diviserai donc cette étude en trois parties bien distinctes :

1. Le contexte de l'étude : Dans un premier temps seront présentés dans cette partie, l'état de l'art du sujet, les formations, les documents administratifs, les espaces confinés, les égouts
2. La mise en œuvre actuelle à l'ATGT : Je poursuivrais en expliquant dans cette partie les méthodes classiques d'acquisitions développées par l'ATGT, les solutions d'acquisitions du groupe qui permettrait d'optimiser les méthodes classiques
3. Recherche et développement des outils d'acquisitions 3D mobiles : Pour terminer plusieurs solutions d'acquisitions de données 3D mobiles seront testées et des démarches d'acquisition et de mise en place de traitement afin de trouver une solution adéquate pour optimiser les relevés en espaces confinés

I. Le contexte de l'étude

I.1 Les opérations en milieux confinés

I.1.1 Introduction

Une opération en milieu confiné se planifie et s'organise. Il est important de bien connaître le terrain, son accessibilité, le matériel à utiliser, les modes opératoires, la procédure adaptée suivant les contraintes engendrées par le type d'espace confiné et d'être formé pour pouvoir travailler. Pour la procédure on va donc dans un premier temps définir le type d'espace confiné, rappeler que toute intervention est subordonnée à la délivrance d'un permis de travail par un responsable autorisé et que ce permis devra être validé par le responsable de l'opération avant toute entrée dans l'espace confiné. On précisera ensuite la signalisation et l'aménagement sécurisé de la zone de travail et les règles concernant la détection des différents gaz et de poussières combustibles que l'on peut retrouver en milieux confinés.

On définira aussi les opérations de consignation, les différentes sources d'énergie et les arrivées ou départs de fluides. Les opérations de nettoyage et de purge ou de curage sont à réaliser préalablement à toute entrée, ainsi que la ventilation manuelle ou mécanique à mettre en œuvre pour faciliter l'accès. Les EPI qui devront être utilisés en plus de ceux que l'on porte lors d'un relevé en espaces non confinés. L'obligation d'utilisation et de contrôle de matériel ou d'outils adéquats pour sécuriser aussi bien les intervenants que les riverains. Définir les rôles de chacun pour la bonne réalisation de l'opération et la mise en place d'un dispositif de communication entre l'ouvrage et l'extérieur, entre l'espace extérieur et l'autorité de contrôle de l'opération mais aussi bien de l'extérieur et aux services de secours. Enfin, la procédure de sauvetage adaptée au dommage survenu et la démarche d'intervention des secours.

I.1.2 Les différents milieux confinés

Un espace confiné est un espace fermé totalement ou partiellement qui doit réunir cinq conditions cumulatives ; l'accès à l'ouvrage restreint ou difficile, un environnement non prévu pour la vie de l'homme, activité faite ponctuellement à l'intérieur, la présence de risques élevés de gaz toxiques et une très mauvaise circulation de l'air.

Ainsi on retrouve une liste exhaustive qui présente les différents ouvrages qui remplissent ces conditions et qui entrent dans la catégorie des espaces dits « confinés » : ([Annexe 1](#))

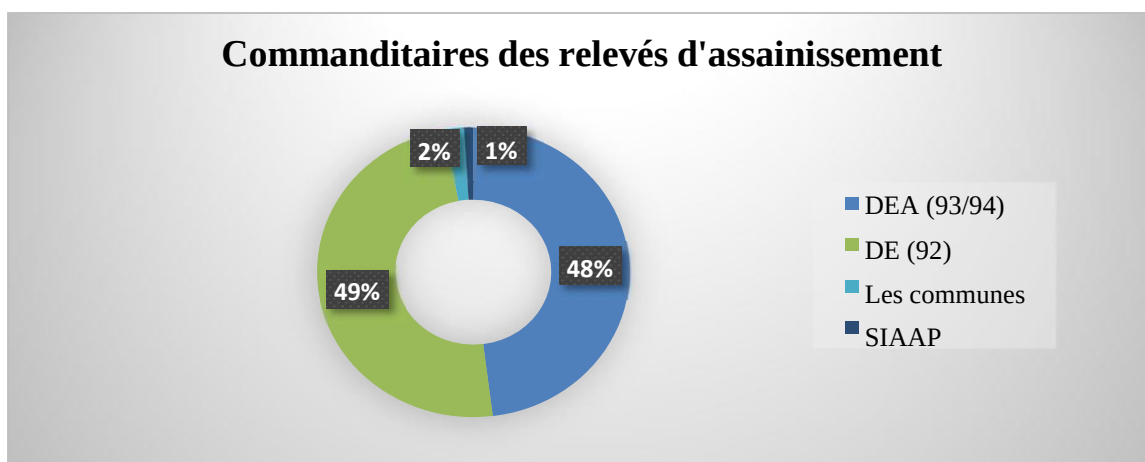
I.1.3 Les égouts

Dans le cadre de mon TFE, en ce qui concerne les espaces confinés, je me concentrerai et réaliserai mes acquisitions et analyses essentiellement sur les égouts. Le plus fréquemment souterrain, un égout est une canalisation ou une conduite en maçonnerie destinée à collecter et à évacuer deux catégories d'eaux, les eaux de pluie et de ruissellement et les eaux produites par l'activité de l'homme (industrielles, eaux usées agricoles, eaux usées ménagères). Les eaux de pluie une fois au sol sont considérées comme des eaux sales puisqu'elles ne sont pas collectées pour une utilisation quelconque mais acheminées en s'écoulant le long du sol et pouvant ramasser des contaminants. Les eaux pluviales peuvent être acheminées soit dans un égout séparatif qui ne contient exclusivement que les eaux de pluies et de ruissellement, soit dans un égout unitaire avec une canalisation d'une plus grande capacité où les eaux usées se déversent également. Le relevé des canalisations d'égouts représente 90 % des opérations réalisées en espaces confinés. Les 10 % restant concernent les galeries techniques, les conduites d'eau, les locaux hydrauliques ou les locaux considérés comme insalubres et donc impropres à la vie humaine.

I.1.4 Les différentes demandes et répartitions des opérations

On retrouve différents commanditaires et différents types de demandes suivant les besoins. On va retrouver durant ces cinq dernières années ;

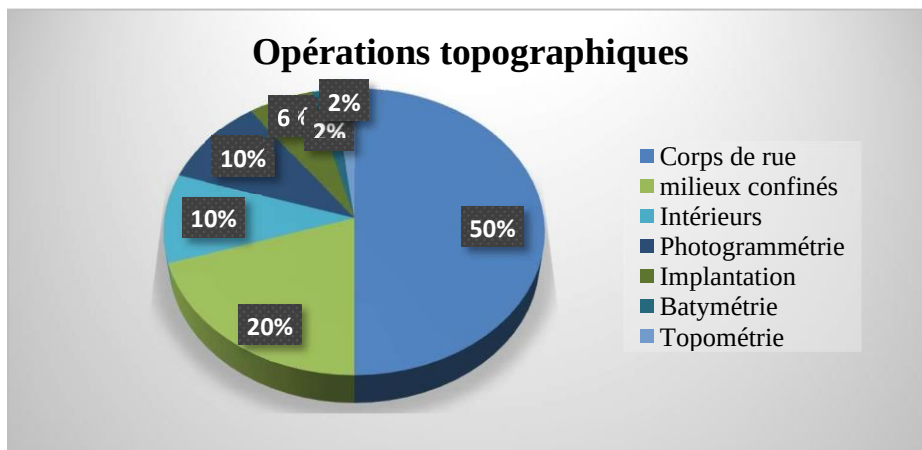
Figure 1 : Commanditaires des relevés d'assainissement



Les demandes vont également dépendre du type de souterrain que l'on va retrouver (les égouts [des canalisations d'eaux pluviales ou usées], les émissaires [gros ovoïdes, canalisations de taille supérieure aux égouts, où l'écoulement se fait plus vite et qui empêchent la sédimentation] ou encore les gros collecteurs qui sont assez larges pour permettre le passage d'un bateau type zodiac).

Pour l'ensemble du groupe ATGT, les relevés en égouts représentent entre 15 % et 20 % des travaux effectués. Pour schématiser, on va retrouver le diagramme représentant les relevés en milieux confinés du Groupe par rapport au reste des opérations :

Figure 2 : Opérations topographiques du Groupe ATGT



I.2 Le C.A.T.E.C (certificat d'aptitude au travail en espaces confinés)

I.2.1 Préambule

Dans les métiers de l'assainissement, des opérateurs sont souvent amenés à pénétrer, ponctuellement ou pour des durées plus ou moins longues, dans des espaces confinés pour y réaliser des opérations de nettoyage, d'entretien ou de maintenance. Or, dans ces espaces, les risques sont réels. Toute intervention dans ces espaces confinés doit donc être préparée. C'est pourquoi des documents de référence ont été édités en 2010 par l'INRS pour prévoir les interventions en milieux confinés. Le CATEC donne suite à ses documents au travers d'une formation pour sécuriser le travail en espace confiné et est obligatoire pour chaque intervenant depuis 2017. En application à cette formation, il y aura trois grandes étapes qui vont permettre de décomposer l'intervention de manière sécurisée ; les démarches administratives, le balisage et la mise en sécurité et la procédure de mise en place.

I.2.2 Les différents risques en milieux confinés

On va retrouver de nombreux risques liés à une intervention en milieux confinés, trois grandes familles se distinguent : les risques liés à l'intervention, les risques liés à la présence de gaz et les autres risques. En ce qui concerne les risques liés à l'intervention, on aura notamment les risques routiers et les risques de chute.

Pour les risques liés à la présence de gaz ; le risque d'asphyxie, le risque d'intoxication et le risque d'explosion. En égouts, on retrouve la présence de 3 types de gaz qui sont dangereux.

- L'hydrogène sulfuré : qui provient de la fermentation de matières organiques
- Le monoxyde de carbone : qui provient de la combustion incomplète des gaz
- Le méthane : qui provient de la décomposition de matière végétale

Le manque de présence d'oxygène peut aussi présenter un risque important pour l'homme pour rappel, on retrouve la composition normale de l'air en (Annexe 2).

On peut se trouver en manque d'oxygène en espace confiné puisque l'air y circule mal

De manière moins fréquente et indépendante on peut retrouver d'autres risques tels (noyades, électriques, mécaniques, hydrauliques, manufactures, biologiques, obscurité, ventilations haute pression).

I.2.3 Les démarches administratives

Il est important que chaque technicien opérant dans un milieu confiné sache parler et comprendre le français sans difficulté. Si un problème survient, il est important que tout le monde puisse réagir en conséquence et en fonction du degré de gravité. De même il faut que les secours adaptés soient prévenus de manière claire et concise pour que leur aide soit la plus efficace possible. Les différents documents n'ont pas d'ordre d'importance car chacun permet de prévenir des éventuels dangers, on va retrouver ;

- Le permis de pénétrer est délivré par l'exploitant du réseau (la SEVESC) dans les Hauts-de-Seine.
- L'autorisation de travail nous est communiquée par le client, celui qui nous charge de l'opération. Elle nous permet en cas de contrôle de prouver à l'exploitant la légitimité de notre présence.
- L'arrêt de circulation est une pièce délivrée par la commune. Cette pièce nous permet de communiquer notre intervention à la mairie et nous autorise le temps de l'intervention à occuper certains endroits du domaine public.
- Le plan de prévention représente une formalité administrative qui définit les moyens mis en œuvre par l'entreprise pour expliquer à l'exploitant comment se déroulera l'intervention (mise en évidence du danger).
- Le permis de feu sert à contrôler ou à réaliser des équipements ou actions avant et après l'opération qui concerne les points chauds.

I.2.4 Le balisage et la mise en sécurité sur voirie

Le balisage permet à tous de prendre connaissance de manière ponctuelle de l'intervention. Il permet la protection des intervenants et des riverains en isolant la zone de travail et ses accès. Suivant la configuration du site, le balisage sera adapté mais les outils et moyens déployés pour protéger les lieux seront les mêmes ; panneaux de signalisation mobiles, barrières rigides et semi-rigides, cônes de signalisations et véhicule de service muni d'un gyrophare et d'un trifiash. En complément des EPI utilisés pour les relevés classiques, les techniciens qui descendent portent ; un détecteur de gaz qui permet de contrôler le pourcentage des trois gaz évoqués et de vérifier que le pourcentage d'oxygène est de 20,9%, un masque autosauveteur qui en cas de présence de gaz, permet de sécuriser de manière individuelle ses voies respiratoires, une combinaison complète, un harnais de sécurité et une paire de gants chirurgicaux superposée d'une paire de gants spécifiques aux égouts.

I.2.5 Procédure de mise en place de la sécurisation des descentes

La procédure de mise en place évoque surtout les démarches à faire pour effectuer les descentes et montées en sécurité, donc les éléments composant le système anti-chutes.

Des objets qui vont permettre d'effectuer un point d'ancrage tel que la potence, le trépied ou encore le mobil-grippe. Les points d'ancrage permettent de se raccrocher à la surface du terrain juste au-dessus de la plaque où l'on va pratiquer la descente ou la montée. Fixé au point d'ancrage un système stop chute permet d'assurer les montées et descentes des intervenants.

I.3 Moyens d'acquisition 3D de la structure

I.3.1 Le Scanner mobile GALAXY T-1000

Le SCAN Mobile GALAXY T-1000 est un LIDAR à temps de vol qui peut être installé aussi bien sur un petit avion que sur un hélicoptère et qui permet le relevé d'importantes structures ou d'importants périmètres ([Annexe 3](#)). Il est doté de technologies qui permettent respectivement de suivre la continuité des informations émises en sortie du capteur et qui permettent de réduire le taux de recouvrement en zone montagneuse.

Utilisé en partie pour fournir des MNT liés à l'hydrographie, il permet aussi grâce à une orthorectification de corriger les erreurs entre le MNT et le MNS dans les orthophotos. Il ne convient pas pour les relevés en milieux confinés.

I.3.2 Le Scanner mobile OPTECH Lynx SG-1 15

Le SCAN Mobile OPTECH Lynx SG-1 15 est un type de LIDAR MMS qui permet l'acquisition 3D. Installé au-dessus d'un véhicule, il peut enregistrer plus de 300 000 points par seconde à une vitesse de 50 km/h ([Annexe 4](#)).

Ce LIDAR est également à temps de vol et est très prisé pour réaliser le plan topographique complet d'une commune ou d'importants corps de rues, sa taille ainsi que son mode d'utilisation ne permettent pas à cet outil d'être sollicité pour le relevé en milieux confinés.

I.3.3 Le Scanner statique Faro

Le scanner Faro réalise des acquisitions de points par différence de phase. Sa technologie laser génère en l'espace de quelques minutes des images tridimensionnelles avec un niveau de détails variables en fonction du paramétrage imposé ([Annexe 5](#)).

Il est utilisé pour les relevés de façade, les héberges, les relevés topographiques, les relevés intérieurs et certains relevés en milieux confinés s'ils ne nécessitent pas de cheminement. N'étant pas un scanner mobile, je n'ai pas souhaité travailler avec cet outil en espaces confinés.

I.3.4 Le Scanner mobile PX 80

Le PX 80 est un scanner laser à temps de vol. Ce LIDAR de la marque Velodyne fait partie des systèmes laser apparus ces dernières années.

Ce système consiste en une combinaison de dizaines de faisceaux LIDAR low cost temps de vol. Installé sur les épaules et le thorax, il permet de réaliser une acquisition en marchant ([Annexe 6](#)). Léger et s'adaptant à son utilisateur, son mode de fonctionnement produit des nuages de points pour des relevés de corps de rues d'intérieurs, de façades...

C'est un outil qui peut être envisagé pour les relevés et descentes en égouts.

Cependant il faut noter que depuis son acquisition, le PX80 est loin d'avoir les résultats attendus par la structure d'accueil. C'est pourquoi, pour pouvoir descendre ce scanner en milieux confinés, il faut dans un premier temps m'assurer de son efficacité, de ses nuages de points et de sa précision pour des acquisitions de type classique telles que ; les relevés topographiques, les relevés de façades, les relevés d'intérieurs et enfin les relevés en espaces confinés. Cette partie sera développée dans le chapitre II s'intitulant « Étude d'une solution existante ».

II. La mise en œuvre actuelle à l'A.T.G.T

II.1 Relevé traditionnel d'un égout

II.1.1 Préparation de la mission

Lors de la réalisation de travaux, le CD 92 missionne des entreprises de géomètres pour effectuer en corrélativement le relevé de surface et le relevé des égouts. Pour préparer la mission, nous identifions la zone à relever grâce au plan de situation fourni par le client ([Annexe 7](#)). Pour cette demande, nous avons à relever un tronçon de canalisation et nous allons effectuer les mêmes recherches et démarches d'analyses que pour une opération classique. Des visites préalables avec l'exploitant peuvent être réalisées pour une simple reconnaissance est établie et pour contrôler que le réseau ne nécessite pas de curage (nettoyage). Les techniciens peuvent être amenés à se rendre sur le site en amont pour réaliser une étude d'assainissement (mise en œuvre de l'opération).

Ils vont notamment observer les entrées et sorties et leurs diamètres, les regards communicants, l'écoulement des eaux, la hauteur du radier et des fils d'eau (par rapport au terrain naturel). Connaître le motif de la demande du client peut être sécurisant car il peut prévenir de certains risques ou informer sur la structure des canalisations. La demande de descente doit être effectuée une semaine avant l'intervention sur le site de la SEVESC au PCGAIA. Sur le site on peut notamment voir la carte de tous les réseaux identifiés du CD 92 ([Annexe 8](#)) et définir la zone sujette à l'opération ([Annexe 9](#)). Le PC GAIA connaît la configuration exacte des réseaux. En fonction de la météo, ils peuvent donc avertir afin d'éviter un potentiel danger comme une crue rapide des fluides. Nous avons à disposition pour notre relevé, un plan topographique relié à une extrémité de la zone provenant du client ([Annexe 10](#)) et un plan que nous avons réalisé auparavant par MMS ([Annexe 11](#)).

II.1.2 Mise en place de l'acquisition pour l'espace confiné

Une fois sur le site il reste à appliquer la procédure vue lors de la formation C.A.T.E.C. Sur le tronçon à lever, nous avons un accès par quatre regards tous situés sur le même trottoir ([Annexe 12](#)). Nous sommes descendus par le regard 2 afin d'être en sous-sol au milieu de la canalisation et nous avons ouvert le regard 1 afin de ventiler le début de notre intervention. Nous avons effectué le relevé complet et cheminé jusqu'à notre regard de sortie (regard 3).

II.1.3 Rappel des différents rôles des techniciens

Lors d'une intervention en espace confiné, on identifie deux rôles bien distincts.

Les surveillants (en surface) : Ce sont les responsables de l'opération, obligatoirement au nombre de deux minimum. Ils doivent être capables de surveiller, de contrôler, d'alerter les collègues en cas de problème, contrôler le passage des riverains, prévenir les secours adéquats si un incident est survenu.

Les intervenants (en sous-sol) : Ils réalisent l'acquisition dans l'espace confiné. Ils doivent donc avoir en plus des EPI classiques, les EPI spécifiques pour la descente. Ils doivent également être capables de communiquer avec l'extérieur, de réagir si un collègue a un incident en milieu confiné, de remonter en cas de montée des eaux ou lorsque le surveillant ne répond plus.

II.1.4 L'acquisition

Le levé est effectué par méthode traditionnelle (avec tachéomètre et prisme). Cependant les processus sont adaptés au regard des contraintes liées aux égouts. Les eaux transportées par les canalisations sont présentes en permanence, on travaille donc avec l'aide d'étais. Les étais sont installés verticalement ou horizontalement au milieu de la canalisation. Ils sont équipés d'une plateforme en métal, fixée perpendiculairement à l'étau sur lequel se visse l'appareil. Le cheminement s'effectue par méthode du centrage forcé.

Figures 3 et 4 : Mise en station de l'appareil et du réflecteur en égout



Figure 3



Figure 4

L'appareil utilisé est un Leica TCRA 1102 +. Il est adapté car il a un ancien compensateur qui ne rentre pas en résonance avec l'étau — support. Les compensateurs des appareils modernes comportent des disques métalliques en suspension entre deux aimants et entrent en résonance à la moindre vibration (provoquée par la circulation des eaux).

II.1.5 Le géoréférencement

Pour rattacher en xyz les ouvrages à la surface, on réalise une descente de station. Elle consiste à ramener un point laser placé en surface de la plaque jusqu'en bas de la canalisation qui sera levé au tachéomètre comme une référence. Pour ce faire, on plante quatre spits autour du regard. On installe ensuite un fil à plomb laser sur un trépied. On chaîne les cotes entre chacun des points plantés autour de la plaque puis les côtes entre chacun des points et du point laser. Chaque cote sera inscrite sur une feuille d'assainissement (une par plaque [Annexe 13]). La cote de nivellement est déterminée grâce à un niveau placé en surface à l'aplomb d'un des quatre points et on fera descendre un mètre depuis l'extrémité du niveau jusqu'au prisme dans l'égout. Dans l'appareil lors de la prise de référence, la hauteur du réflecteur sera donc la distance indiquée par le mètre.

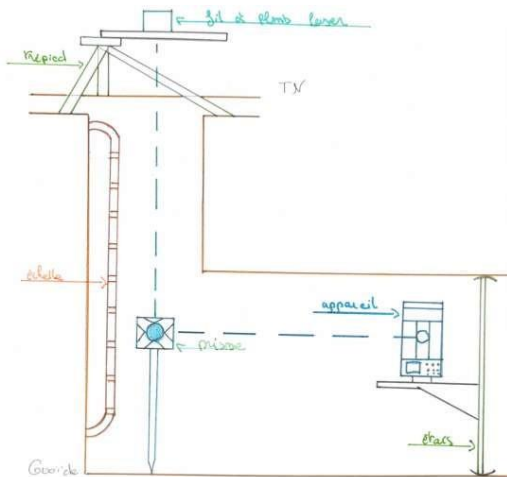


Figure 5 : croquis d'une vue en coupe d'une descente de station

II.1.6 Le traitement Calculs en surface :

Les coordonnées planimétriques des spits autour des plaques sont relevés de façon classique par les points rayonnés. Les coordonnées du point laser sont calculées par triangulation sur les points de référence du relevé MMS. Les coordonnées altimétriques du fil aplomb sont calculées et moyennées à l'aide des cotes prises sur le site et notées sur la feuille d'assainissement et ces coordonnées correspondent à celles des pivots.

Figure 6 : Croquis d'une vue en plan d'une descente de station

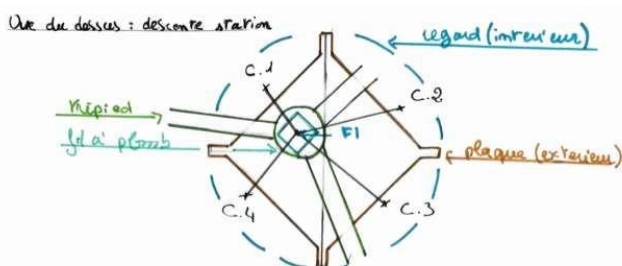


Figure 7 : Photo d'une descente de station

Calculs en sous-sol :

Le cheminement en sous-sol s'effectue en xy local et le z en NGF. Les verticales sont donc connues en xy généraux et locaux. Les coordonnées finales sont obtenues par transformation Helmert. Bien que nous ayons les coordonnées xy et z de chaque fil, nous ne pouvons pas effectuer de calcul de cheminement par rapport aux coordonnées exactes car nous n'avons qu'une référence (qu'un fil) par station. Le relevé en égout ne permet pas d'avoir plusieurs références par station du fait de sa configuration rectiligne. Une fois le cheminement et les points rayonnés faits en xy local et z général nous effectuons une transformation Helmert échelle 1 du plan de sous-sol sur le plan de surface.

Report :

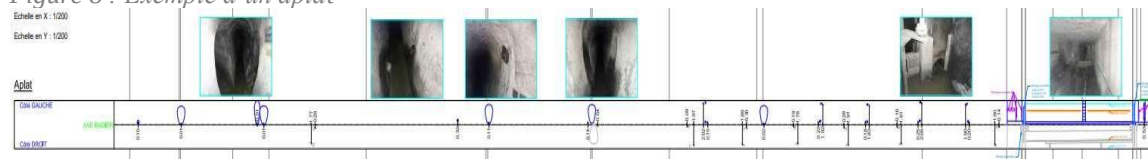
Le dessin représente la partie la plus chronophage de l'opération. Ici, quatre plans sont à livrer ; le plan topographique, le profil en long, l'aplat et des coupes.

Le plan topographique : se réalise de la même façon que les plans topographiques de surfaces, nous dessinons tous les équipements présents, l'ouvrage au plus large et des points de nivellement

Le profil en long : Sur la base du plan topographique, une coupe de terrain selon une trajectoire. Il sera ici fait en fonction de l'axe de l'ovoïde, de l'amont à l'aval pour suivre l'écoulement des eaux.

L'aplat : L'aplat est la représentation en vue du dessus, une tranche faite le long de l'ovoïde, à la verticale et en son axe, qui permet de voir les deux côtés de la canalisation toutes les arrivées, leurs diamètres et leur altitude ; cela permet d'éviter le chevauchement de certaines arrivées ;

Figure 8 : Exemple d'un aplat



La coupe : La coupe représentera à un endroit de la canalisation une tranche transversale et permet la représentation exacte de l'ovoïde ;

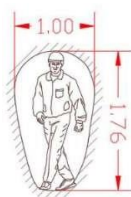


Figure 9 : Exemple d'une coupe en ovoïde

Nous obtenons par la suite le rendu de tous les livrables ([Annexe 14](#)).

II.1.7 Conclusion

Les relevés d'égouts présentent des contraintes de nature multiples ;

- La question du tachéomètre : les appareils dont le compensateur évite la résonnance avec l'étau, sont de moins en moins courants.
- L'accrochage au prisme (tracking), presque indispensable car les relevés sont réalisés dans le noir quasi complet.
- Le problème de manutention quand beaucoup de mises en stations sont nécessaires.
- La quantité de matériel pour la mise en station et le rattachement.
- La nécessité d'avoir plusieurs intervenants formés au C.A.T.E.C.
- Mise en place de l'opération très physique.

En conséquence, il est envisagé de faire évoluer les procédures pour faciliter l'acquisition et pour conserver la qualité des données collectées. L'utilisation d'un scanner mobile représenterait un gain de temps considérable ainsi qu'une économie d'énergie et de moyens engagés par les intervenants.

II.1.8 Les précisions

Suivant les attentes des clients, il peut nous être demandé de connaître la profondeur de la canalisation, les accès ou sa position exacte. Le client n'a pas connaissance de ce qu'est réellement une précision, il cherche surtout une grande fiabilité des plans. Aujourd'hui grâce aux méthodologies instaurées nous sommes capables d'assurer une précision d'environ 5 cm. Précision très suffisante pour situer un ouvrage par rapport à d'autres éléments de la voirie. Pour nos cheminements les précisions xyz vont être de l'ordre de $\pm 1 - 2$ cm et le centrage forcé nous permet de conserver cette précision tout le long de notre cheminement. C'est le relèvement des équipements qui peut varier de $\pm 1 - 5$ cm suivant l'endroit de la structure où nous prenons les points c'est pourquoi nous assurons une telle précision.

II.2 Optimisation d'une solution existante (PX80)

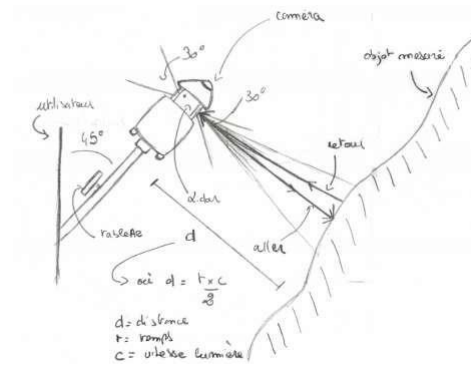
II.2.1 Présentation du PX80

C'est un scanner laser 3D mobile PX-80 de la marque Parascom. Il permet de fournir un résultat couleur à son utilisateur, grâce à une caméra qui permet de voir à 360°. Il est doté d'un capteur lidar VLP-16, de la marque Velodyne, et peut prendre jusqu'à 300 000 pts/s à une précision relative de $\pm 2-3$ cm. Il permet de réaliser une acquisition sur une portée allant de 0,50 à 80 m avec un angle d'acquisition de 30°. Ce laser fonctionne avec deux technologies d'acquisition différentes ; le temps de vol et le SLAM.

Le temps de vol :

Figure 10 : Schéma de la technologie temps de vol

Ce nouveau système permet notamment une combinaison de dizaines de faisceaux LIDAR low cost temps de vol. Le laser à temps de vol repose également sur un principe très simple, à savoir, calculer combien de temps il faut à un laser pour atteindre un objet et le renvoyer ensuite à un capteur. Nous pourrions à partir de ce calcul donc obtenir la distance à laquelle se trouve l'objet de l'émetteur. La vitesse de la lumière est connue avec une grande précision ($3,3 \times 10^{-9}$ nanoseconde/m) et c'est à partir de cette mesure que l'on pourra déterminer le temps aller-retour que fera une impulsion laser. Ces systèmes utilisent des circuits précis à quelques picosecondes près pour mesurer le temps nécessaire à des millions d'impulsions laser pour revenir au capteur et calculer une distance.



SLAM : *Figure 11 : Schéma de la technologie SLAM*

Cet outil est également doté de la technologie SLAM ; Simultaneous Localization And Mapping. La technologie SLAM, est un mixte de données lidar, d'imagerie couleur et de mesure inertielle (IMU). C'est une méthode qui permet sous forme d'un algorithme, de construire l'environnement dans lequel le scanner se trouve à fur et à mesure qu'il avance. Il va notamment identifier des endroits dans l'environnement qui lui serviront de repères pour construire le nuage et avancer dans la construction en temps réel de ce qui l'entoure. Le problème de cette technologie est que l'environnement qu'il construit grâce aux points de repère et sa propre position n'est pas exacte du fait de l'inexactitude de ces points. Cependant plus le scanner va se déplacer, plus il trouvera des similitudes entre ses points de repère et donc une sorte de corrélation qui permettra d'augmenter sa précision.



II.2.2 Prise en main

Le PX80 se positionne sur les épaules et le thorax grâce au harnais et il suffit ensuite de lancer l'acquisition. Pendant le lancement, le scanner aura un temps de préparation de 25 secondes (une sorte d'initialisation) où l'outil sera tenu à la verticale. Une fois l'initialisation terminée, on peut voir grâce au SLAM la solution de l'acquisition ainsi que notre parcours en temps réel et notre environnement qui se crée au fil de notre marche. Lors de l'acquisition, il est vivement conseillé de réaliser des boucles et d'avoir un espace préalablement dégagé. Une longue acquisition est difficile à traiter et à interpréter par le scanner. Il est donc recommandé de ne pas dépasser une acquisition de plus de 10 minutes.

Les différentes contraintes du PX80 seront expliquées dans le prochain chapitre. Le calcul du nuage se lance automatiquement une fois l'acquisition terminée. Il faut compter cinq fois le temps de l'acquisition pour connaître le temps de calcul. Lors de la reconstruction, le scanner va prendre en compte dans ses calculs : le calcul de la trajectoire, la colorisation du nuage de points et enfin le filtrage du bruit. L'utilisateur n'a la main ni sur le calcul du nuage ni sur le paramétrage de l'outil. Une fois la reconstruction terminée, le fichier est prêt à être exporté.

II.2.3 Problématiques relevées par les techniciens

Avant de me pencher sur l'outil, il était nécessaire de recueillir les témoignages des collègues ayant réalisé des opérations avec le PX 80. Depuis son acquisition (automne 2019), un seul livrable a été fourni sur la base des données et de l'acquisition du PX80. Ce bilan interroge. Autrement dit, cela fait plus d'un an que l'outil n'est pas rentabilisé. Est-ce une mauvaise utilisation de l'outil ? Un défaut de l'outil ? Un problème lié aux différentes interventions ? Un trop grand nombre de contraintes qui ne permettent pas une utilisation correcte de l'outil ? Un manque de connaissances en matière de logiciels ? Un sondage auprès de plusieurs techniciens a permis de dresser la liste des différentes contraintes d'acquisition du PX 80.

II.2.3.1 Les contraintes d'acquisition du PX80

- 1) L'inclinaison de l'outil : avec son angle d'acquisition verticale de 30°, il est nécessaire d'incliner l'appareil à environ 45° cependant garder cette inclinaison demande de la pratique.
- 2) L'ouverture d'acquisition de 30° ne permet pas de voir les points hauts. Il faudrait, pour pallier à ce problème, changer l'angle d'inclinaison au cours de l'acquisition.
- 3) La vitesse de marche de l'utilisateur peut jouer sur les éventuelles dérives qu'elle génère. Une marche lente, voire très lente est préconisée.
- 4) Un environnement sombre sera impossible à scanner par conséquent prévoir des éclairages fixes sur notre passage est de rigueur.
- 5) Un environnement humide sera plus propice à générer du bruit sur le nuage. Le bruit lié à l'humidité entraînera un nuage par des vagues de points inexacts.
- 6) De la même façon, les endroits contenant du liquide ou un passage de liquide ne seront pas du tout représentés sur le plan.
- 7) Certains angles de pièces suivant l'acquisition peuvent être mal interprétés et former un arrondi, ce qui va rendre la détermination exacte sur Autocad compliquée.
- 8) Les embrasures de portes représentent une liaison entre les pièces et représentent généralement les endroits comprenant beaucoup de bruit.
- 9) L'appareil ne comprend pas la notion de dénivelé et peut donc rendre l'interprétation des éléments difficile sur le nuage de points.
- 10) Le début de l'acquisition ne peut se faire dans un angle, dans un couloir, dans un cul-de-sac ou encore face à un mur, sinon le nuage contiendrait beaucoup de dérives qui seraient prises en compte lors de la reconstruction (constat d'expérience).

- 11) Lors de l'acquisition, il faut privilégier de larges virages et éviter d'effectuer des marches arrière.
- 12) Il est nécessaire de marcher en faisant des boucles et l'arrivée doit se faire au même endroit que le départ au risque de provoquer une perte de suivi.
- 13) Le scanner post-traite des données seul, comme dit précédemment, le paramétrage ainsi que le bruit et les défauts (dérives) du nuage seront dans les calculs, nous n'avons à aucun moment la main sur les calculs.
- 14) Le nuage issu du scanner ne peut pas être géoréférencé car on n'a pas la main sur le calcul donc on ne peut lui imposer des cibles avec des coordonnées. Le nuage ne pourra être géoréférencé qu'avec un recalage Helmert.

L'ensemble de ces contraintes représente une problématique de taille, à savoir dans quelles circonstances peut-on utiliser ce scanner, de quelle manière est-il possible d'améliorer les différentes acquisitions, comment diminuer les écarts de précision et comment rendre plus simple l'utilisation du PX80 ?

II.2.3.2 Analyse technique du scanner PX 80

Avant d'acquérir le PX80, l'entreprise avait mené une étude sur plusieurs scanners afin de choisir lequel serait le plus adapté aux besoins du Groupe ATGT en matière de levés d'intérieurs. Il existe trois grandes familles de scanners mobiles ; les scanners sac à dos, les scanners sur chariots et les scanners à mains. Le scanner à main a été sélectionné au regard de sa légèreté, sa simplicité d'utilisation, son coût et sa précision centimétrique.

Pour donner suite à cette première sélection, plusieurs scanners à mains ont donc été comparés, la méthode d'acquisition et le rendement des différents systèmes. Les critères, la réalité d'utilisation et les avantages et inconvénients ont incité le Groupe à porter son choix sur le PX 80. Enfin les précisions attendues (caractéristiques techniques) sont de l'ordre du centimètre pour les scanners laser ce qui correspond parfaitement aux attentes.

II.2.4 Application du PX80 sur différents types de relevés

Afin de comprendre les différents problèmes rencontrés dans le cadre de l'expérimentation, j'ai réalisé des acquisitions en vue d'établir différents types de plans. La précision d'environ 5 cm qui interdit la production de tous livrables est particulièrement préoccupante. Il était donc nécessaire de réaliser des acquisitions d'intérieur, de façade, de corps de rue et de chambre hydraulique afin de pouvoir faire des comparaisons.

II.2.4.1 Acquisitions

Relevé en intérieur :

Avant de commencer le relevé, on va s'assurer que la pièce est bien éclairée, que les différents passages sont dégagés, on va également ouvrir toutes les portes qui séparent les pièces à lever. Enfin on va visiter toutes les pièces pour prévoir le cheminement de notre passage. Il est préférable de prévoir plusieurs acquisitions pour être sûr de ne rien manquer, et ce en partant de différents endroits du parcours. Avoir un point de départ au milieu d'une grande pièce où l'on peut observer le plus d'éléments est une chose à privilégier. Chacune des trois acquisitions peut donc être réalisée en suivant un chemin bien précis, avec de larges virages, en commençant verticalement et en terminant verticalement sur le même point que celui du départ. Il faut veiller, face à chaque embrasure de porte, à marquer un temps d'arrêt et à redresser le PX80 afin qu'il soit vertical, d'avancer tout en le maintenant en position verticale très lentement, de marquer à nouveau un temps d'arrêt une fois l'embrasure de la pièce passée et le réincliner. Ne pas excéder une acquisition de 10 minutes pour diminuer les risques de dérive.

Relevé de façade :

Pour le relevé de façade, une fois le scanner installé et relié à la tablette, on va veiller à n'avoir aucun masque qui serait potentiellement gênant lors du dessin. On va également réaliser trois acquisitions pour une même façade dans le même but, d'avoir le maximum de chance d'obtenir tous les points significatifs. Les trois acquisitions devront elles aussi être réalisées sur un point de départ différent des autres et terminer sur ce même point de départ à chaque fois. Pour l'acquisition à différents endroits de la boucle, il serait opportun de faire varier l'angle d'inclinaison du scanner afin de pouvoir avoir les points les plus hauts de la façade.

Relevé de corps de rue :

En ce qui concerne le relevé de corps de rue, tout comme le relevé de façade, plusieurs acquisitions seront de rigueur, avec des points de départ différents les uns des autres.

Des boucles avec différentes inclinaisons pour réussir à relever tous les éléments présents au sol. Les passants peuvent également générer par endroit certains masques, c'est pourquoi réaliser plusieurs passages dans ce genre d'opération est plus que nécessaire.

Relevé en chambre hydraulique :

Enfin le relevé en chambre est très compliqué car c'est un espace confiné. Il présente donc tout le contraire d'un site propice à l'acquisition réalisée par le PX80. Cependant sans aucune mise en place particulière j'ai souhaité relever cette chambre de la même façon que les autres opérations pour bien comprendre les difficultés rencontrées. Malgré les obstacles, nous avons tenté de réaliser différentes acquisitions avec différents points de départ. Cependant nous n'avons pas réalisé différentes inclinaisons en rapport avec l'étroitesse de l'espace.

II.2.4.2 Traitement

La méthode dite classique est sensiblement la même quelle que soit l'opération réalisée. Une fois la reconstruction effectuée, seules les acquisitions nécessaires sont exportées aux formats « dashboard », « las », « ply » « retrace ». Pour le traitement classique des données, je vais me contenter d'extraire le format « las » qui contient des données de nuage de points lidar, permet d'obtenir sur logiciel le nuage de points et de dessiner le plan à partir de ces points. Le logiciel Recap, analyse le nuage de points et l'enregistre en format « rcs » pour pouvoir le lire dans Autocad. Pour chacun des livrables, nous basculerons dans différentes vues afin de pouvoir tout dessiner, différentes tranches seront aussi faites suivant nos besoins. La mise en place de plusieurs SCU facilitera le traitement et la mise en forme des différents plans.

II.2.4.3 Écarts

Les plans obtenus à partir du PX 80 ont été comparés à ceux dressés à partir de trois méthodes de relevés différentes :

- Pour le plan d'intérieur : comparé à un levé fait par PIC.
- Pour le plan de façade : comparé à un levé fait par tachéomètre.
- Pour le plan de corps de rue : comparé à un levé fait par tachéomètre.
- Pour le plan de chambre hydraulique : comparé à un levé fait par scanner Faro.

Plan d'intérieur :

Nous avons donc réalisé le plan d'intérieur à la fois par PIC et à la fois avec le PX80.

PIC (Plan d'Intérieur Compensé), permet depuis une tablette de faire le relevé d'un espace en lui imposant des distances prises avec un distancemètre ([Annexe 15](#)). Une fois les deux relevés faits, on pourra ensuite dessiner après avoir réalisé nos tranches le plan d'intérieur et

comparer la structure issue de PIC et celle issue du PX80 (*Annexe 16*). J'ai superposé les deux dessins : en cyan le dessin issu de l'acquisition du PX80, en noir le dessin issu de PIC. On remarque presque immédiatement qu'une fois superposés on peut toujours voir les deux couleurs de traits. On constate également des écarts sur une majorité des distances. Sur un échantillon de 15 distances, l'écart moyen est de $\pm 3,5$ cm. Les temps nécessaires pour l'acquisition et le traitement sont comparables pour le PX 80 (20 minutes) et le relevé par PIC (30 minutes). Les écarts constatés pour ce type de plan sont incompatibles avec les précisions attendues et n'entre pas dans la tolérance admise de 2 cm.

Plan de façade :

Le relevé de façade a été fait avec un tachéomètre (TCRM 1201 Leica). Un croquis a été esquissé avec les points et leurs informations. Grâce au croquis, la structure brute de la façade a été dessinée tout comme le nuage de points du PX80 (*Annexe 17*). J'ai donc dessiné directement sur le nuage de points la façade et les équipements et je l'ai comparé au dessin fait par tachéomètre (*Annexe 18*). Comme pour le plan d'intérieur on distingue deux couleurs, le cyan pour le PX80 et le noir pour le plan fait par tachéomètre.

Un échantillon de différents points (15 points) a été sélectionné et moyenné afin d'obtenir les écarts entre les deux plans. Nous avons trouvé un écart de 6 cm pouvant aller jusqu'à 10cm sur certains points. Pour une façade de 10 mètres ne présentant aucun problème de masque, aucun problème de distance, c'est un écart trop important. Comme pour le plan d'intérieur, on ne peut se permettre de livrer un plan avec ces incertitudes à un client. Nous avons réalisé cette opération en 2 heures (l'acquisition et croquis avec le tachéomètre) et consacré 2 heures pour le dessin. Pour le plan fait par PX80, nous avons mis 10 minutes pour l'acquisition et 1 heure pour le dessin.

Plan de corps de rue :

Un relevé également avec un tachéomètre a été réalisé sur une superficie de 750 m².

Figures 12 et 13 : périmètre de la zone à lever

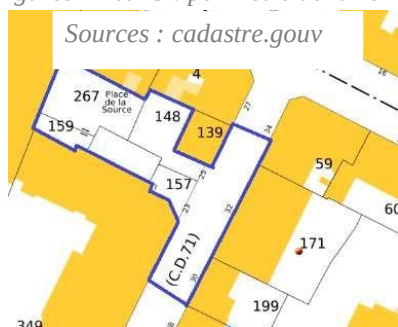


Figure 12

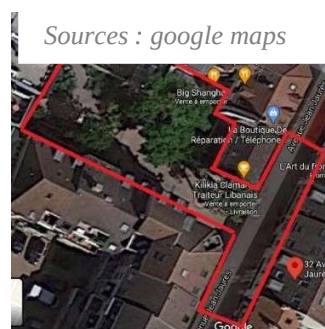


Figure 13

Nous avons fait le relevé en codifié, donc une fois les calculs réalisés et le dessin généré, le plan sommaire était dessiné. Parallèlement, nous avons aussi généré et dessiné sur le nuage de points de la zone faite au PX80 ([Annexe 19](#)). Pour faciliter la comparaison des plans, une routine a été mise en place ; variation de la taille des points du nuage, modification du mappage afin de pouvoir distinguer et interpréter les différentes textures et accentuation de la transparence du nuage. On retrouvera en cyan notre plan issu du PX80 et en noir/couleur le plan issu du relevé fait par tachéomètre ([Annexe 20](#)). Une base de différents points (15 points) et en comparant les deux plans topographiques, un écart d'environ 6,5 cm ressort, sûrement dû à l'interprétation du nuage. On relève aussi différents problèmes lorsque l'on regarde le nuage de points du PX80 ;

- Une mauvaise visibilité des affleurants
- Objets de couleur proches difficiles à interpréter
- Élément dans la végétation ne sera pas visible
- La présence de passants (leurs passages) est enregistrée lors de l'acquisition et forme une trace de couleur foncée sur le nuage de points.

Pour un plan topographique, généralement au 1/200 è, on annonce au client une précision de classe A, c'est-à-dire que la tolérance acceptée en termes d'écart ne doit pas excéder 2 cm. Avec de tels écarts, nous sortons de la tolérance autorisée. Une matinée a suffi pour lever la topographie de la zone au tachéomètre et une demi-journée a été nécessaire pour réaliser le plan topographique. Par le PX 80 nous avons mis 10 minutes à relever la zone et une demi-journée pour réaliser le plan topographique.

Plan de chambre hydraulique :

L'acquisition a été faite par scanner Faro et a été divisée en deux parties. Une partie avec les différentes stations dans la chambre et une partie avec différentes positions du scanner installé sur un trépied et descendant en rappel pour scanner l'accès de la chambre ;

Figures 14 et 15 : croquis des positions du scanner

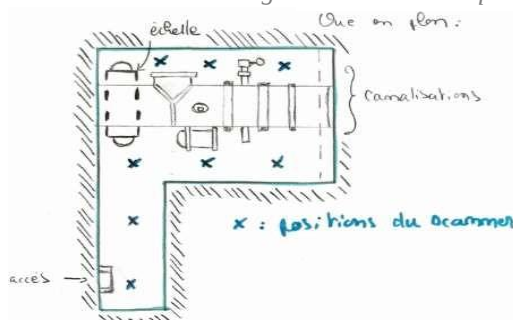


Figure 14

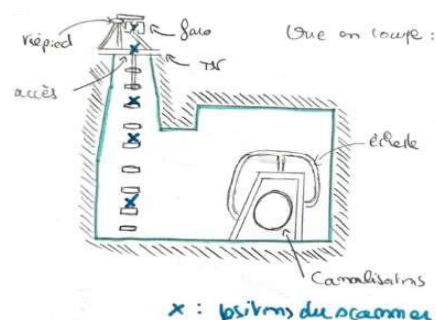


Figure 15

Ces différentes positions ont permis de générer sur le logiciel de traitement Scene l'assemblage d'un nuage contenant toutes les informations nécessaires à la rédaction des livrables. J'ai aussi sorti le nuage issu de nos acquisitions faites au PX80 ([Annexe 21](#)) ;

Les nuages de points issus du PX80 n'étaient pas assez exploitables pour que je puisse fournir un livrable, je n'ai pas pu dessiner la suite au relevé fait en chambre hydraulique.

II.2.4.4 Conclusion

Les résultats obtenus avec les différents relevés effectués et les différentes méthodes d'acquisitions pour les comparer ont montré qu'avec une méthode classique d'acquisition et de traitement des nuages issus du PX80, nous n'obtenons pas la précision attendue et ne pouvons fournir des livrables. Certaines opérations n'ont même pas permis un traitement du nuage. Pourtant les possibilités offertes par cet outil ne sont pas négligeables et permettraient de faciliter bien des opérations.

Il est donc nécessaire de repenser la façon de travailler :

- Améliorer la méthode de relevé
- Améliorer la méthode de traitement
- Apporter des contrôles et des outils supplémentaires

II.3 Amélioration des techniques d'utilisation du PX80

II.3.1 Amélioration de la phase d'acquisition

Pour donner suite à ces différentes analyses, la première question posée était de savoir si les problèmes liés à l'acquisition venaient de la façon dont l'utilisateur chemine avec le scanner. Des problèmes de démarche, de vitesse, du recul du capteur par rapport au technicien ou de l'angle qui pouvait ne plus être fixe en tenant l'outil à bout de bras. Pour ce faire, j'ai pensé à « construire » un outil qui rendrait les acquisitions du PX80 plus homogènes et qui pourrait supprimer les écarts provoqués par les dérives de l'outil. J'ai utilisé l'armature d'une poussette à laquelle j'ai apporté des modifications qui permettraient d'installer le PX80 et d'avancer sans générer des fluctuations de vitesse et d'inclinaison ([Annexe 22](#)).

Les mêmes acquisitions ont été réalisées sur les différentes opérations et ont pourtant produit exactement les mêmes écarts, dérives et imprécisions que sur les acquisitions faites à la main. Il apparaît que les fluctuations de vitesse et d'inclinaison sont sans incidence sur les écarts constatés.

La poussette aménagée n'aurait pas pu être utilisée en espaces confinés mais aurait pu apporter un avantage lors des acquisitions pour des opérations classiques. Pourtant à force de plusieurs acquisitions on constate une légère amélioration des nuages de points de jour en jour.

II.3.2 Amélioration de la méthode de traitement

Après avoir éliminé les problèmes dus à l'acquisition, je souhaite mettre en place une nouvelle routine d'acquisition et de traitement afin d'obtenir une meilleure précision.

En repartant donc de la racine du répertoire et de ses différents moyens d'exports ;

Dossier RETRACE => il permet de visualiser les photos et le parcours (les boucles) effectués par l'utilisateur avec l'utilitaire Paracosm.

Fichier LAS => nuage de points du relevé à l'issue de la reconstruction SLAM permet de qualifier le nuage en précision relative.

Fichier PLY => à la même utilité que le LAZ mais dans un autre format ouvert. Projet DASHBOARD => est une sauvegarde du remontage SLAM, au cas où la reconstruction ne se déroule pas correctement ou les résultats ne sont pas parfaits c'est ce dossier que nous envoyons au support du constructeur (PARACOSM).

Ces quatre fichiers ont été exportés pour les différents relevés.

Les fichiers retrace ont été visionnés afin de contrôler les parcours effectués et les photos prises aux points clés du parcours sur l'utilitaire parascom. Il est possible de sélectionner le visionnage par les photos prises par le scanner, par les points du nuage ou la combinaison des deux. Une minimap permet de voir la trajectoire complète, le point de départ et d'arrivée de la boucle et les endroits du parcours où les photos ont été prises. Pour les nuages de points, je suis passée cette fois par le logiciel Cloud Compare. Mais j'ai constaté les mêmes problèmes que sur les nuages passés par Récap.

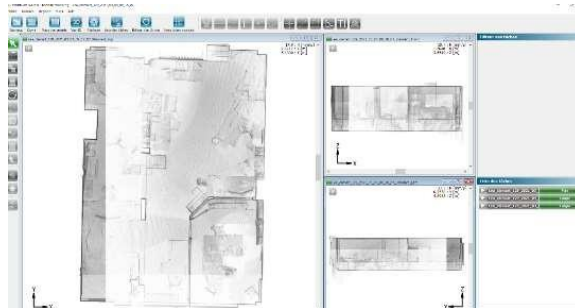
Je me suis donc demandé s'il était possible de faire passer le nuage de points par un autre logiciel pour que son interprétation soit plus claire. Le logiciel PointCab présente des avantages pour ce genre de besoins. Il permet d'interpréter les nuages de points sous trois vues différentes en même temps et qui génère des orthophotos des différentes tranches permettant leur intégration dans un logiciel de CAO comme Autocad. J'ai essayé sur mes différentes acquisitions de générer différentes orthophotos.

II.3.3 Application sur les relevés types

II.3.3.1 Plan d'intérieur

Sur le fichier retrace la technologie de visualisation du nuage ne présente pas de problème particulier. On constate des boucles et des photos prises à des endroits significatifs de notre parcours. L'analyse du nuage sur Cloudcompare valide ce que l'on avait observé au travers du fichier retrace ([Annexe 23](#)).

Une fois les outils pour contrôler le nuage ouvert nous pouvons ouvrir PointCab. L'espace de travail va se diviser en trois parties ; front : vue en coupe transversale, left : vue en coupe longitudinale, top : vue du dessus (vue en plan). Ces différentes parties montrent le nuage de points sous un angle différent et permettent de le visualiser à travers trois vues, pour ainsi réaliser nos tranches. *Figure 16 : Les différentes vues du nuage dans Point Cab*



Pour obtenir une orthophoto en vue plan, nous avons fait une tranche sur la vue left. Sur cette orthophoto on constate une interprétation des points plus facile et un bruitage du nuage assez réduit puisqu'on décèle une épaisseur de trait de 2 cm. Une fois le plan réalisé, nous pouvons le comparer avec le dessin fait par PIC lors de la comparaison des méthodes classiques ([Annexe 24](#)). Sur un échantillon de 11 cotes prises aux contours de la pièce on retrouve une précision d'environ 1,2 cm avec une différence de 2 cm maximum sur certaines cotes. Cette précision est presque 2 fois supérieure à celle trouvée lors des premiers traitements ce qui est très encourageant pour réaliser et traiter des relevés d'intérieurs.

II.3.3.2 Plan de façade

Pour le traitement de façade, nous avons appliqué le même processus, nous avons donc visualisé le fichier retrace ainsi que le nuage de points sur Cloudcompare ([Annexe 25](#)). Nous ne percevons pas d'aberrations visibles. Nous pouvons donc insérer le fichier LAZ dans PointCab. Les trois vues se génèrent à partir de notre nuage de points. Pour faire une tranche sur la façade, nous l'avons cette fois-ci faite sur la vue « Top », sur la totalité de la longueur de la façade avec des amorces de chaque côté dépassant sur les bâtiments voisins pour avoir le plus de détails possible.

Figure 17 : Orthophoto de la façade à dessiner



Comme pour le plan d'intérieur, j'ai pu comparer le dessin de l'orthophoto et celui fait par tachéomètre ([Annexe 26](#)). En superposant les deux plans et grâce à un échantillon de 11 points, j'obtiens un écart moyen de 3 cm ce qui est comme pour le plan d'intérieur, 2 fois plus précis que les écarts obtenus avec les méthodes de traitements classiques. Aujourd'hui, avec une précision de 3 cm pour un plan de façade, un livrable peut-être fourni aux clients car les points pris, souvent au laser, peuvent être pris à différents endroits suivant l'opérateur.

II.3.3.3 Plan de corps de rue

Pour le plan de corps de rue, j'ai déployé le même procédé qui nous a donné les visionnages suivants ([Annexe 27](#)). Aucune aberration visible sur ces visionnages. De plus étant en extérieur on peut observer facilement le cheminement réalisé, le parcours montré par la technologie SLAM du scanner et les boucles effectuées. Le fichier LAZ a été inséré dans Pointcab et observé les trois vues de notre nuage de points. Pour réaliser une tranche qui sera une vue en plan, on insère le trait de coupe sur la vue « Front ». Nous avons réalisé plusieurs tranches afin d'avoir les différentes altitudes de notre terrain. Nous avons aussi varié les épaisseurs des tranches afin d'affiner la visibilité des éléments extérieurs de notre corps de rue.

Figure 18 : Orthophoto du plan topographique à dessiner



Le plan généré à l'aide des éléments de Pointcab est comparé à celui dressé classiquement à partir du relevé au tachéomètre. L'échantillon de 11 points révèle une précision similaire à celle observée précédemment.

Même en passant par une orthophoto pour ce type d'opérations, les inconvénients cités lors des premiers traitements restent bien présents ; la visibilité des affleurants reste problématique, les masques végétaux ne peuvent être éliminés les traits bien que moins bruités demeurent difficiles à interpréter.

II.3.3.4 Plan de chambre hydraulique

Les mêmes démarches ont été mises en place lors du traitement de la chambre hydraulique ([Annexe 28](#)). Pour le contrôle du nuage de points de la chambre hydraulique, on remarque tout de suite des aberrations et des problèmes lors de la reconstruction du nuage. Il subsiste des dérives importantes et un bruit très dense. On peine même à deviner la structure brute de la chambre et les éléments à l'intérieur de la chambre semblent même impossibles à distinguer. Pour le test de la chambre, je ne pourrai poursuivre l'opération tant le nuage est inexploitable. Pour prendre conscience de la qualité obtenue, une comparaison avec le nuage de points issu du logiciel SCENE a été faite ([Annexe 29](#)).

II.3.4 Diminution des contraintes

Il apparaît au travers de cette étude que le PX 80 puisse être utilisé dans le cadre de plans d'intérieurs ou de petites façades à condition de traiter les données avec des outils adaptés. Concernant les plans topographiques ou de chambre hydraulique, les outils étudiés n'ont pas permis d'aboutir à des résultats convaincants. D'autres procédures peuvent être mises en œuvre et vérifiées, cette étude n'est pas exhaustive concernant le traitement des données issues de relevés scanners. Il est également précisé que seule la précision relative a été testée lors de ces acquisitions. Les difficultés rencontrées pour obtenir une précision relative et les résultats obtenus m'incitent à ne vouloir traiter la précision absolue de l'outil seulement si ce dernier fournit une précision relative satisfaisante lors des acquisitions en égouts.

Dans un futur proche, je mettrai en place une notice ou un guide d'utilisation qui permettra à tous les futurs utilisateurs de prendre en main cet outil avec une routine plus adaptée. Ces processus ont permis de réduire le nombre de contraintes liées à l'outil et vont me permettre maintenant d'essayer de l'exploiter en égouts. Aujourd'hui nous avons comme contraintes toujours présentes ; un environnement sombre difficile à scanner, un environnement humide plus propice à générer du bruit sur le nuage, la notion de dénivelé, les endroits exigus pour le début des acquisitions et les points d'une portée inférieure à 50 cm, le post-traitement indépendant du paramétrage de l'outil et le géoréférencement du nuage.

À la suite de ces analyses, nous pouvons à présent descendre le PX80 en égout.

II.4 Utilisation du PX80 pour le relevé d'égout

Le relevé concerne un tronçon d'égout contenant des éléments facilement assimilables par le scanner (Annexe 30) ; une distance linéaire inférieure à 20 mètres, un regard de descente, un barrage en béton avec une porte à vannes et un saut à ski (chute).

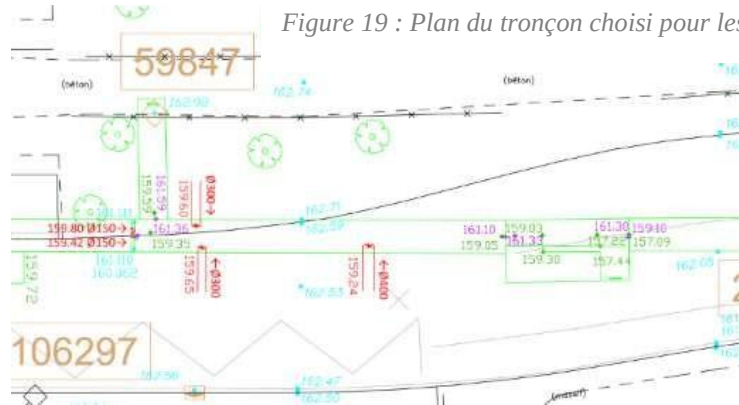


Figure 19 : Plan du tronçon choisi pour les tests

Nous avons fait au préalable le relevé de cet égout afin de pouvoir nous contrôler.

II.4.1 Scénarios d'utilisation conventionnelle

Le scénario conventionnel est le mode d'acquisition recommandé par la société Parascom à savoir ; inclinaison à 45°, une marche lente le long de l'acquisition, une acquisition inférieure à 10 minutes et une marche très lente et un redressement de l'outil en virage et à l'entrée d'un couloir

II.4.1.1 Acquisition

Quatre acquisitions différentes ont été réalisées avec 2 points de départ/arrivée différents. L'approche sur les 4 sessions de la 1re campagne de mesure PX80 dans les égouts. Le Parcours de ces 4 acquisitions a été effectué à hauteur d'homme, l'instrument était à environ 1m70 du sol. Sur le relevé de cet égout, on constate 4 zones significatives où nous avons mis en place les recommandations citées précédemment ;

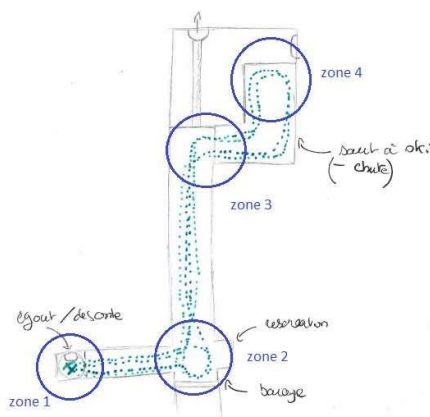


Figure 20 : zones significatives et les cheminements réalisés

Zone 1 = point de départ/arrivée des acquisitions : une fois le scan lancé, je suis restée à la verticale environ 10 secondes avant d'incliner lentement le scanner en restant sur place jusqu'à obtenir une inclinaison d'environ 45°. Face à la canalisation (la marche), j'ai avancé très lentement.

Zone 2 = point où j'ai marqué un temps d'arrêt, redressé le scanner à la verticale, patienté 10 secondes et réincliné le scanner avant d'avancer de nouveau lentement toujours dans le sens de la marche pour scanner les angles (comme ce qui est recommandé pour les embrasures).

Zone 3 = même principe que la zone 2 : marquer un temps d'arrêt, redresser le scanner à la verticale, rester sur place 10 secondes puis réincliner l'outil avant de reprendre une marche lente.

Zone 4 = zone de « demi-tour », le virage le plus large possible, une fois dans le sens opposé, j'ai redressé lentement le scanner, attendu 10 secs à la verticale, et poursuivi ma marche lente.

Sur les zones, j'ai effectué les mêmes manipulations qu'à l'aller jusqu'à revenir sur mon point de départ, dos à la canalisation en redressant l'appareil à la verticale 10 secondes avant d'enregistrer l'acquisition. Puis j'ai procédé aux mêmes manipulations en prenant pour autre point de départ la zone 2. Lors de ces différentes acquisitions, la technologie SLAM présentait des dérives. Ces dérives sont normalement corrigées lors de la reconstruction. Lesaut à ski n'a pas été intégré, cette structure n'étant pas fréquente dans les ovoïdes.

II.4.1.2 Analyse des nuages de points

En passant donc par les process appliqués pour les précédents travaux, j'ai analysé les nuages de points de ces quatre acquisitions ([Annexe 31](#)). On constate presque aussitôt que malgré les précautions prises lors des acquisitions et malgré les différents points de départ, les dérives engendrées par la technologie SLAM sont trop importantes pour que l'instrument puisse reconstruire le nuage de points.

Sur aucune des acquisitions, le PX80 n'a interprété le point de départ de l'acquisition comme étant le point d'arrivée et a donc généré des aberrations. Suite à ces aberrations, j'ai remis en question la position du scanner qui n'était peut-être pas adaptée au milieu confiné. D'autres scénarios ont été envisagés.

II.4.2 Scénarios d'utilisation non conventionnels

II.4.2.1 Acquisitions

Plusieurs positions non conformes du scanner ont été testées lors des acquisitions non conventionnelles ;

- Position standard à 1 m du sol.
- Position inclinée à 45° sur le côté de l'utilisateur.
- Position inclinée à 45° en arrière (porté comme un baluchon).
- Position verticale inversée (tête en bas) et position verticale au-dessus de l'utilisateur.

Pendant ces acquisitions je n'ai pas respecté les temps d'arrêt conseillés ni les temps de redressement de l'outil. J'ai simplement cherché à comprendre si en milieu confiné une autre position nous permettrait de « corriger » les dérives ou au moins de les diminuer. Pour ces acquisitions mon point de départ a été le saut à ski. Comme les autres acquisitions n'avaient pas été probantes, j'ai préféré partir d'un espace légèrement plus grand. Toutes mes acquisitions ont duré moins de cinq minutes pour ne pas engendrer encore plus de dérives.

II.4.2.2 Analyse des nuages de points

Ces acquisitions ont été faites trois fois chacune à partir de 3 points de départ différents afin de voir si le problème pouvait venir du point de départ. Mais cette réflexion n'a rien donné car nous avons obtenu à chaque fois des aberrations semblables entre les acquisitions qui avaient le même point de départ. Les différentes positions m'ont permis d'obtenir des résultats différents ([Annexe 32](#)). Deux fichiers se démarquent des autres ; celui avec le PX80 à l'envers et celui avec le PX80 complètement redressé et au-dessus de l'opérateur. On reconnaît ce qui semble être la structure vraie de notre égout test avec tout de même quelques problèmes. Ici le SLAM n'a toujours pas interprété notre point de départ comme étant notre point d'arrivée. On constate aussi un doublon de la pièce avec le saut à ski et on obtient un nuage bruité d'environ 5 à 10 cm. J'ai donc généré deux nuages de points et réalisé des tranches pour pouvoir les dessiner même sommairement.

Puis j'ai superposé le tronçon de l'égout relevé par tachéométrie pour comparer. Le problème ici c'est que l'on a un doublon du saut à ski et en pratique sans contrôle, nous n'aurons aucun moyen de savoir lequel est le bon et si sa position est exacte.

J'ai donc dessiné le saut à ski qui me semblait le plus juste avec ce que j'avais constaté sur le terrain. À l'issue de ses manipulations, j'obtiens les résultats suivants ; pour le PX80 renversé, on remarque un écart linéaire d'environ 50 cm sur la position réelle du saut à ski avec encore une fois aucune certitude sur le saut à ski exact ([Annexe 33](#)).

Tandis que pour le PX80 levé au-dessus de l'opérateur et laissé à la verticale on constate que sur l'un des deux sauts à ski on a un écart très faible ([Annexe 34](#)). J'ai donc pris un échantillon de 8 points (par rapport au plan du tachéomètre et celui que j'ai dessiné) et j'ai obtenu sur cet échantillon un écart d'environ 5,5 cm avec des distances allant de 15 cm à 2 cm. Ces écarts sont encourageants cependant on peut les constater parce qu'on a un plan déjà fait pour appui. Le doublon du saut à ski reste quand même un point inquiétant.

II.4.3 Mise en place d'un éclairage

J'ai ensuite pensé que les défauts des nuages de points pouvaient venir du manque de luminosité que l'on pouvait avoir dans ces espaces confinés. Il a donc fallu que je trouve un éclairage avec une batterie que je puisse descendre en égout et qui serait fixe par rapport à ma démarche. Un éclairage qui serait porté par l'utilisateur plutôt qu'un éclairage statique que l'on déplacerait à chaque fois me semblait donc plus propice pour notre utilisation.

J'ai donc mis en place autour de moi un néon led de 2 mètres d'une luminosité de 900 lumens pour avoir un éclairage supplémentaire et réparti en hauteur pour mes acquisitions ([Annexe 35](#)). Les acquisitions suite à cet éclairage ont fourni des nuages de points presque similaires à d'une descente avec la lampe frontale. Nous n'obtenons pas forcément de meilleurs assemblages de nuages ni des nuages moins bruités. Néanmoins on constate sur les photos prises par la caméra du PX80 une visibilité plus nette ([Annexe 36](#)). Pour prendre conscience de l'impact d'un apport de luminosité, il faudrait redescendre avec un éclairage encore plus puissant (type spéléologie). Cependant sans aucune garantie et au vu de ces résultats, je n'ai pas souhaité poursuivre dans cette direction.

II.4.4 Conclusion

Après deux mois et demi de recherches sur l'optimisation du PX80, je me sens prête à dresser une conclusion bien que j'ai conscience à ce stade de ne pas avoir poussé l'outil dans ses derniers retranchements. Les difficultés rencontrées m'ont permis à ce stade de n'étudier que la précision relative de l'outil, je n'ai donc pour l'instant pas traité les questions propres au géoréférencement. Ce scanner mobile, pratique d'utilisation et combinant différentes technologies a néanmoins soulevé plusieurs difficultés notamment au travers des reconstructions SLAM.

Avec plusieurs acquisitions du même tronçon d'égouts, j'ai pu dresser différentes comparaisons mais je ne suis pas parvenue à des résultats intéressants avec seulement une utilisation de l'outil non conventionnel et non recommandé par le constructeur. De plus, la présence du doublon soulève elle aussi d'autres questions ; Est-ce une aberration systématique ? Les différences linéaires générées par cette aberration sont-elles toujours de la même valeur ?

Comment diminuer ces aberrations et quels autres process en plus de l'éclairage peut-on mettre en place pour obtenir de meilleurs résultats ? Une fois ces points améliorés, comment peut-on géoréférencer les nuages issus du PX80 ? Pour l'heure, les démarches mises en place pour optimiser ce scanner ne m'ont pas permis de l'utiliser pour améliorer les techniques d'acquisitions de relevé en milieux confinés.

III. Recherche et développement des outils d'acquisitions 3D

III.1 Rédaction d'un cahier des charges répondant aux critères des espaces confinés et aux précisions recherchées

Afin de trouver une solution d'acquisition adéquate pour les relevés en espaces confinés, il m'a fallu rédiger un cahier des charges propres à ce type de travaux sans omettre les indications et besoins de mes collègues. Ce cahier, destiné à l'ensemble des fournisseurs, propose une solution d'acquisition mobile capable de relever des longs couloirs d'ovoïde. Il a été rédigé suivant une nomenclature de trois parties bien distinctes ; présentation de la société et des relevés en milieux confinés, état de l'art et les critères de sélection

III.1.1 Présentation de la société et des relevés en milieux confinés

Cette partie est destinée à informer les responsables commerciaux qui liront notre cahier des charges de l'importance du Groupe et des différentes arborescences d'activités dans lesquels il s'épanouit, ainsi que les groupes partenaires. De cette façon ils prennent connaissance de la portée des relevés d'égout au sein de notre agence et des dispositions à prendre quant aux espaces confinés et de la nécessité de nos opérations. Cette partie reprend notamment des passages semblables à l'état de l'art énoncé au début de ce rapport c'est pourquoi je ne développerai pas davantage.

III.1.2 État de l'art

La seconde partie décrit le terrain, les difficultés, et l'ensemble des éléments afin de réaliser le travail. On retrouvera notamment ; la structures et les éléments présents, les différents périmètres, longueurs et arrivées, les différentes chambres que l'on peut rencontrer, les câbles et différents capteurs, les accès, les revêtements et dépôts de matières, l'éclairage Ces différents points sont à l'heure actuelle des freins quant au bon fonctionnement de l'acquisition. Il est important de rappeler les points sur lesquels on va attendre leurs technologies.

III.1.3 Critères de sélection

Les critères de sélection vont permettre d'affiner nos recherches par rapport aux rendus fournis au client et la praticité de l'outil sur les sites confinés. C'est grâce à ces parties que les responsables commerciaux vont pouvoir comprendre la nécessité d'utiliser un scanner mobile d'une part et à main d'autre part.

Il y aura des critères qui n'impacteront pas nos choix, il est important aussi de les notifier. De la même façon, aucun capteur ne sera privilégié par rapport à un autre.

On aura malgré tout un niveau d'étanchéité (IP) ainsi qu'une portée minimale à respecter impérativement. Une bonne interprétation des dénivelées, un bruit de nuage ainsi qu'une bonne précision sont plus que nécessaires bien que pour ce type d'opération nous poussons les limites des nouvelles techniques d'acquisitions mobiles.

Ainsi pour satisfaire ces différents aspects qui nous sont essentiels aux relevés d'égouts voici le cahier des charges produit que les responsables commerciaux devront connaître afin de mieux répondre à nos besoins ([Annexe 37](#)).

III.2 Analyse de scanner répondant au cahier des charges

Après plusieurs recherches et contacts avec des responsables commerciaux, nous avons recensé quatre scanners laser mobiles à main qui nous ont interpellés ;

- Le scanner Faro Freestyle 3D de la marque Faro (Trimble) (Figure 21)
- Le Heron Lite color de la marque Gexcel (Figure 22)
- Le BLK2go de la marque Leica (Figure 23)
- Le Zeb Revo RT de la marque Geoslam (Figure 24)



Figure 21



Figure 22



Figure 23



Figure 24

Il est donc nécessaire de réaliser un premier tableau soulevant les avantages et les inconvénients de chacun et de comparer leurs caractéristiques par rapport au cahier des charges que nous avons rédigé afin de présélectionner certains outils et d'étudier leurs limites pour ne laisser passer aucune opportunité.

III.2.1 Tableau comparatif sommaire des différentes solutions ([Annexe 38](#))

III.2.2 Élimination de solutions ne répondant pas au cahier des charges

III.2.2.1 Scanner Faro Freestyle 2

Ce scanner ne possède pas de capteur lidar. C'est un scanner laser qui projette une grille de faisceau infrarouge. Cela implique que sur une toute petite zone face à lui sera projeté un cône lumineux où plusieurs points permettront de dessiner l'élément en question. Il est comme les autres scanners à main doté de technologie SLAM, on peut donc voir l'élément test scanner en temps réel. Il est utilisé de préférence dans de tous petits espaces et sa portée minimale de 0,40 m. Il est capable de fonctionner dans un environnement sombre sans nécessité de revenir sur son point de départ. Plus la distance de l'objet sera courte plus la précision du nuage sera importante. Toutefois il ne permet pas d'interpréter les différences de dénivelées et comme on le constate dans le tableau récapitulatif, il est l'outil le moins bien sécurisé pour les relevés en égout car son niveau d'étanchéité ne permet pas d'aller au —delà des corps étrangers d'un diamètre de 1,25 cm et les gouttes d'eau inclinées à plus de 15°. Ce scanner permet entre autres les mesures de toutes petites zones de manière ponctuelle. Il aide à combler les manques sur les nuages faits au scanner statique. On peut aussi l'utiliser pour réaliser de petites maquettes afin de capturer l'élément en question à un instant précis ce qui évite la multiplication de stations statiques.

Il a été testé en spéléologie sur l'acquisition d'une grotte qui a permis aux endroits les plus impénétrables par méthode statique d'acquérir des points pouvant relier les nuages. On peut voir sur certaines vidéos de démonstration qu'il est notamment utilisé par la police pour scanner les voitures accidentées (Annexe 39). Ce type de scanner n'est pas fait pour acquérir de la donnée en cheminant d'un point A à un point B. Il n'est pas en mesure de réaliser une cartographie complète d'une zone et nous en servir pour compléter des relevés issus d'autres scanners ne rendrait pas service aux techniciens qui perdraient de temps lors de leurs acquisitions. Cette solution est retirée de l'étude.

III.2.2.2 Heron Lite color

Le Heron Lite color est doté de technologie SLAM et fonctionne aussi bien pour des relevés intérieurs qu'extérieurs puisque sa portée est de 0 à 100 m, ce qui offre une ouverture d'acquisition plus que satisfaisante. Un cheminement par boucle n'est pas obligatoire mais à privilégier en milieux confinés. Il fonctionne avec tous types d'éclairage. Une grande luminosité ou l'obscurité totale ne l'empêchera en rien d'acquérir de la donnée. Il est capable de prendre 300 000 pts/s en atteignant une précision relative de 3 cm ce qui en première analyse, pourrait correspondre à nos attentes.

Cependant, une étude a été menée en 2019 sur différentes solutions d'acquisitions mobiles. Nous avons pu tester une première version du Heron Lite. Lors de cette étude, le scanner a montré un bruit de nuage plus important que les autres et une mauvaise interprétation de la dénivelée. Aujourd'hui, le scanner a été amélioré. On peut constater un bruit de nuage d'environ 3 cm et une interprétation correcte de la dénivelée. Ces nouvelles informations m'ont poussée à me pencher un peu plus sur cet outil. Lors de correspondance échangée avec la responsable commerciale du Groupe Gexcel en Italie, j'ai appris que des clients estoniens avaient testé l'outil pour relever des espaces confinés. Pendant ces tests, on peut voir les techniciens descendre le scanner en position renversée au bout de sa perche et acquérir de la donnée dans une chambre en le faisant tourner ([Annexe 40](#)).

Ces tests permettent en quelque sorte de confirmer son utilisation pour des espaces confinés. Cependant on ne peut voir aucun cheminement réalisé et aucune canalisation de type ovoïdale qui pourraient s'apparenter à nos relevés. Aujourd'hui, mes dernières questions et demandes de test sont restées sans retour. Bien que je pense que des tests soient nécessaires avec cet outil sur un de nos sites, je n'ai pas souhaité poursuivre mon étude avec ce scanner pour trois raisons ; mes derniers échanges sans retour, aucun test réalisé dans des canalisations ou en cheminant, le capteur lidar du scanner qui est un Velodyne comme le PX80).

III.2.2.3 Conclusion

Après une première analyse, nous avons éliminé de l'étude deux scanners. Bien que certains points ne soient pas favorables à notre cahier des charges, des tests ont été réalisés avec les deux solutions restantes. Le BLK2go est en désaccord avec notre cahier des charges en ce qui concerne la portée minimale. En effet, nous préconisons une portée minimale de 0 m tandis que ces critères d'acquisitions ont une portée minimale de 0,5 m. Toutefois, ce scanner est très léger et facilement maniable. Il fonctionne par photogrammétrie en plus de la technologie SLAM et est donc doté d'une caméra, qui pourrait rendre les levés en endroits sombres compliqués, mais un système d'éclairage a été pensé par les fabricants pour pallier ce problème. Il est fait pour fonctionner aussi bien en intérieur qu'en extérieur et ne nécessite pas de boucle lors des cheminements. Il interprète les dénivelées et a une portée maximum de 25 m ce qui est suffisant pour relever les ovoïdes. Il est l'outil capable de prendre le plus de points à la seconde et celui qui obtient une précision relative la plus précise.

Le Zeb Revo TR correspond en tout point à notre cahier des charges, bien qu'il soit le plus lourd des quatre scanners. Il fonctionne avec tous types d'éclairage et est utilisé initialement pour des relevés d'intérieurs. Il interprète les dénivelées et respecte les critères de portées. De plus, sa précision est conforme au cahier des charges. Le seul inconvénient est qu'il nécessite des cheminements bouclés. Par la suite je vais donc réaliser des tests avec ces deux outils afin de voir lequel des deux est le plus à même de fournir les rendus souhaités et si l'un des deux permettrait d'améliorer les techniques d'acquisitions en espaces confinés.

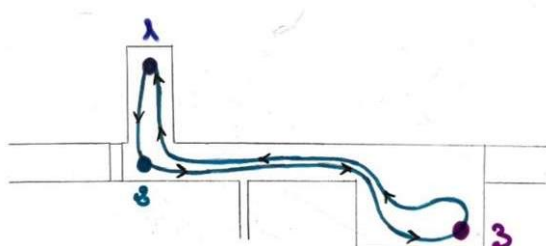
III.3 Étude de solutions choisies

III.3.1 Le scanner Zeb Revo RT

III.3.1.1 L'acquisition test

Ce scanner a été testé dans le même égout que celui du PX80 afin d'avoir des éléments de comparaison. Une première session d'acquisition a été faite. J'ai appliqué une utilisation classique de l'outil et tout comme le PX80 j'ai effectué plusieurs boucles différentes avec 3 points de départ différents ;

Figure 25 : Croquis des boucles et des différents points de départ



- Le point 1 représente le point de départ et d'arrivée de la première acquisition
- Le point 2 représente le point de départ et d'arrivée de la deuxième acquisition
- Le point 3 représente le point de départ et d'arrivée de la troisième acquisition

Lors des acquisitions, des dérives ont été constatées mais de faible importance. La construction du nuage était elle davantage semblable à la structure réelle sur le terrain. Le Zeb Revo RT affine et recalcule le nuage de points et les trajectoires une fois le scan terminé. Les dérives que l'on voit sur la tablette ne seront donc pas les mêmes que celles que l'on obtiendra ou non lors de l'export des nuages de points. Ces trois acquisitions ont été générées étant assez semblables à l'existant et afin de constater l'importance des dérives, elles ont été superposées directement avec le plan sommaire du tronçon d'égout en question ([Annexe 41](#)). Sur place, nous avons constaté que l'acquisition commençant au niveau du tampon générait moins d'aberrations que les autres. J'ai donc insisté et refait des acquisitions en partant de ce dernier pour savoir si les mêmes types d'aberrations se répétaient ou non ([Annexe 42](#)).

On remarque aussitôt une amélioration du nuage de points bien que les dérives soient toujours aussi importantes.

À ce stade de mes acquisitions, on remarque aussi qu'on obtient le même schéma que les dernières acquisitions faites au PX80 en méthode non conventionnelle. Toutefois les dérives restent bien moins importantes que celles générées par le PX80. En effet on retrouve le même schéma d'aberrations ; un doublon du saut à ski ainsi qu'un doublon du coffre (sous le tampon). C'est au moment où l'on passe dans l'ovoïde que le scanner perd sa position et génère ces dérives. Je me suis donc dit que si l'on plaçait des « obstacles » ou des éléments qui permettent de briser la linéarité de cet endroit peut être que le scanner arriverait à recréer la structure de l'ovoïde.

Le passage étant exigü il a fallu penser à des équipements capables de tenir dans l'ovoïde transposables. J'ai donc utilisé les étais courts avec lesquels les techniciens travaillent, placés au plus large de l'ovoïde sur lesquels j'ai posé des cibles de scanner Faro. Nous avons un linéaire d'ovoïdes d'environ 12 mètres et au vu des différentes acquisitions j'ai jugé qu'il était nécessaire de placer un « obstacle » tous les 5 mètres. J'ai donc placé deux étais et une sphère à chaque extrémité des étais. J'ai aussi rajouté une sphère sur le barrage et une sur l'échelle au bout du saut à ski pour rajouter des éléments (Annexe 43) ;

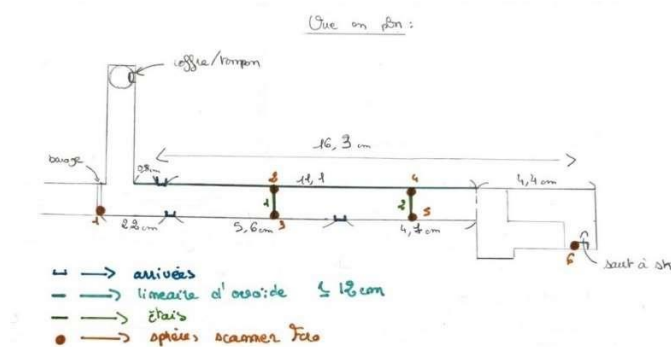


Figure 26 : Croquis du placement des obstacles

Nous avons réalisé 3 acquisitions en partant à chaque fois du coffre (tampon) et lors de ces dernières nous n'avons constaté aucune dérive sur la tablette et le point de départ a bien été interprété comme étant notre point d'arrivée ; j'ai donc procédé au même contrôle rapide en superposant directement sur les trois nuages de points mon plan et j'obtiens visuellement des résultats satisfaisants (Annexe 44) Les résultats des nuages de points obtenus dans Recapet CloudCompare étant satisfaisants, j'ai généré ces mêmes nuages de points dans Point Cabafin de visualiser mes trois vues, généré des orthophotos sur Autocad et ainsi procédé à un réel contrôle des écarts formulés par le nuage de points du Zeb Revo RT. De plus je rappelle que les nuages générés sur Pointcab forme moins de bruit que sur Récap et Cloud compare en effectuant un bref contrôle. J'ai de nouveau confirmé cette information en obtenant en moyenne 1,5 à 2 fois plus de précision sur certains écarts de points.

Donc suivant mes besoins j'ai réalisé différentes tranches me permettant de dessiner le plan à partir de l'orthophoto « Top » générée dans Autocad. J'ai également utilisé l'orthophoto de la vue « left » où l'on remarquait bien la structure, les pentes, les arrivées, le coffre ainsi que le terrain naturel. Afin de pouvoir dessiner le profil en long et comme pour le plan topographique, j'ai dessiné directement sur l'orthophoto.

Figure 27 : dessin du plan topographique sur le nuage

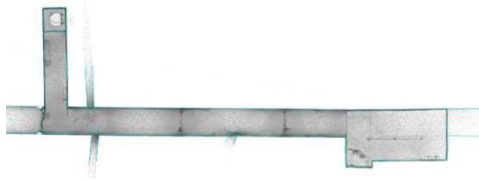


Figure 28 : dessin du profil en long sur le nuage



Sur des points significatifs, j'ai comparé les différences en « xy » et effectué des calculs pour contrôler la précision relative de mon plan topographique et mon profil en long (Annexe 45). Sur le tableau d'écart de points concernant le plan topographique et le profil en long (Annexe 46), en interprétant les écarts trouvés sur les différents points, on obtient une précision relative en planimétrie allant de 1 à 3 cm. Pour le plan topographique, le point le plus loin a un écart de 3 cm pour une précision planimétrique imposée n'excédant pas 5 cm. Pour le profil en long le point le plus loin a un écart de 7 cm. Il est le seul à ne pas rentrer dans la tolérance imposée. C'est peut-être dû à l'interprétation du nuage ou à la prise de points lors du relevé. Ce seul écart sur un point nous permet quand même d'être satisfaits des résultats obtenus avec en moyenne pour le plan topographique : 1,3 cm d'écart et pour le profil en long : 2,6 d'écart. Cet écart est suffisant pour la précision avec laquelle nous garantissons les rendus aux clients. De plus, elle respecte le cahier des charges récemment rédigé. Nous pouvons maintenant interpréter les autres vues pour pouvoir dessiner les autres livrables au client ; aplat et coupe (Annexe 47).

III.3.1.2 Test complémentaire

Les essais dans l'égout test étant satisfaisants j'ai voulu soumettre le Zeb Revo RT à une situation type que l'on peut retrouver lorsque qu'on chemine en égout. À travers ce nouveau test, j'ai voulu pousser les limites de cet outil et ainsi voir la précision absolue qu'il pouvait atteindre en mettant en place un système qui permettrait de géoréférencer le nuage de points. L'idée principale était de faire une boucle en descendant par un tampon, cheminer dans l'ovoïde, ressortir par l'autre tampon et refermer la boucle au-dessus du premier tampon au niveau du TN.

L'objectif était de prendre un tronçon d'égout avec différents critères que ceux utilisés pour le premier test ; un coffre à chacune des extrémités, un linéaire d'environ 50 mètres et peu de structure et d'éléments. Pour réaliser ce type de cheminement, il a fallu mettre en place un processus d'acquisition spécifique afin que l'acquisition n'excède pas 10 minutes et respecte les mesures de sécurité du Catec ([Annexe 48](#)).

Pour ce faire, nous sommes intervenus à quatre opérateurs, deux intervenants en surface et deux intervenants en sous-sol avec chacun des tâches bien définies ;

- Intervenant 1 ; il a pour objectif de surveiller le premier tampon, celui de la descente. Il sera ainsi le premier à utiliser le scanner. Il commencera l'acquisition en scannant le dessus de la plaque avec les quatre repères géoréférencés autour des plaques il devra, tout en continuant l'acquisition, descendre le scanner dans le coffre en rappel grâce à une corde jusqu'à ce que l'intervenant 2 le récupère.
- Intervenant 2 ; il a pour objectif de récupérer le scanner en acquisition et de scanner en cheminant en sous-sol la totalité du réseau jusqu'au coffre et de remonter
- Intervenant 3 ; il a pour objectif une fois l'intervenant 2 dans le coffre de remonter en rappel avec une seconde corde le scanner toujours en acquisition. Une fois récupéré, il devra tout comme l'intervenant 1 scanner le contour de la plaque pour avoir les quatre autres repères. Ceci fait l'intervenant 1 et l'intervenant 3 devront se retrouver à mi-parcours pour que l'intervenant 1 récupère le scanner et se referme sur son point de départ.
- Intervenant 4 ; a pour objectif d'aider l'intervenant 2 lors de l'acquisition en bas (avec les câbles, obstacles, lumières et moments de descentes et remontés).

Voici le tronçon que nous avons choisi pour effectuer ces relevés ([Annexe 49](#))

On constate que sur ce tronçon nous avons des départs d'ovoïdes construits pour de futurs travaux, deux au début de la canalisation sur la droite et un pratiquement en face du coffre de sortie. Ces éléments vont nous permettre de « casser » la continuité de l'ovoïde et peut-être aider le scanner à se repérer à l'intérieur. Une fois sur place au vu de la structure du tronçon et grâce aux résultats obtenus lors des premières acquisitions, j'avais pour objectif de placer des obstacles environ tous les 5-10 mètres pour briser la linéarité de l'ovoïde.

Nous avons en notre possession 4 étais et 6 sphères que nous avons choisis de répartir sur la totalité de l'ovoïde

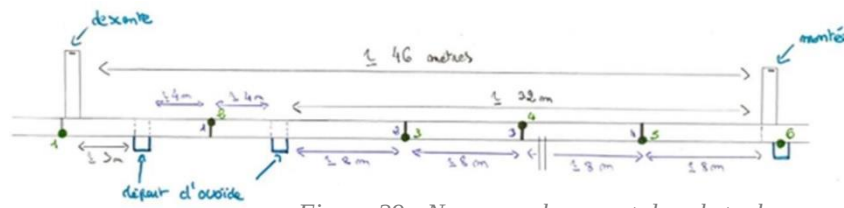


Figure 29 : Nouveau placement des obstacles

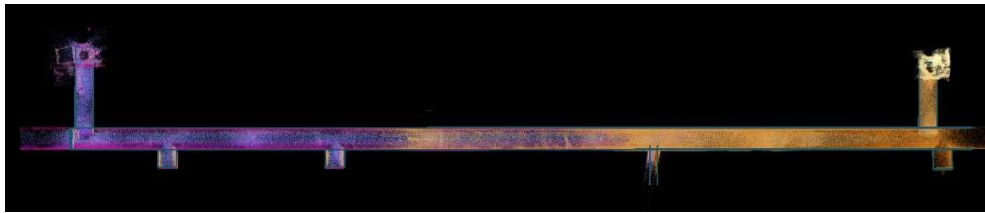
Ainsi, nous avons pu commencer nos acquisitions, malheureusement nous ne sommes pas parvenus à faire une acquisition complète du début à la fin.

Le scanner se perdait en plein milieu de l'ovoïde. Seules deux acquisitions ont rendu des nuages de points intéressants.

Un premier nuage contient le coffre de la descente jusqu'au milieu de la canalisation et le second inclut le coffre de la montée jusqu'au milieu de la canalisation.

Si je n'avais pas eu de plan (d'appuis) pour pouvoir comparer mes acquisitions, celles-ci n'auraient rien donné. Pourtant, j'ai choisi de les exploiter malgré tout afin de voir quels problèmes avait rencontré le scanner lors des relevés et de comparer les écarts liés à l'assemblage de ces nuages. Voici les deux nuages de points extraits du scanner qui ont été calculés ([Annexe 50](#)) J'ai choisi de prendre le plan dessiné par levé conventionnel afin de voir les écarts produits par ces dérives ;

Figure 30 : Assemblage des deux nuages de points



J'ai, pour l'un comme pour l'autre, généré des orthophotos sur PointCab me permettant de dessiner le plan topographique et le profil en long. Sur les deux nuages de points, on peut constater en commun une arrivée qui a été levée juste au moment où les dérives se sont manifestées. J'ai assemblé ces deux morceaux de plan et de profil en long afin de voir les écarts par rapport au plan réel ;

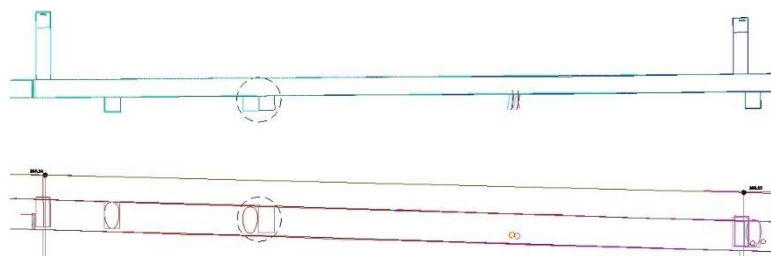


Figure 31 : Comparaison des dessins du nuage et dessin du tachéomètre

On constate presque aussitôt que le raccord des deux plans par rapport au plan fait de référence sont assez satisfaisants à un détail près, un des débuts d'ovoïde levé par le Zeb RevoRT se trouve décalé.

J'ai conscience que cette aberration n'est pas tolérable puisque l'écart de cet élément est d'un mètre. Cependant, l'assemblage correct des autres éléments justifiait à mon sens d'étudier les différents écarts. Je me suis concentrée sur le plan topographique pour analyser mes écarts. On découpe trois zones différentes à analyser ;

- La première partie du plan (le dessin issu du premier nuage de points)
- La seconde partie du plan (le dessin issu du second nuage de points)
- La zone recouverte mutuellement par les deux parties de plans (zone d'incertitudes produites par la perte du signal lors des deux acquisitions)

Sur ces trois zones, j'ai placé des points sur le plan topographique à des endroits significatifs afin d'en ressortir des écarts. Du point 1 à 8, on va retrouver les écarts entre la première partie du plan et le plan de référence. Du point 11 à 18, on va retrouver les écarts entre la seconde partie du plan et le plan de référence. Les points 9 et 10 représentent les écarts d'une arrivée située dans la zone d'incertitude du plan. Les points allant de 19 à 22 seront les écarts seulement en ordonnées (car aucun point n'est réellement défini sur cette zone puisque situé dans le linéaire de l'ovoïde) sur des zones non significatives délimitant la zone d'incertitude entre les deux plans ([Annexe 51](#)). Pour obtenir tous ces écarts, j'ai effectué les mêmes calculs que pour le premier test et je les ai répertoriés dans un tableau ;

Comparaison de la première partie						Comparaison de la seconde partie					
	Δx	Δy	$\Delta x - Em$	$\Delta y - Em$	$\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$		Δx	Δy	$\Delta x - Em$	$\Delta y - Em$	$\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$
1	-0,046	-0,069	-0,043	-0,040	0,045	11	-0,021	0,038	-0,011	-0,024	0,012
2	-0,030	-0,086	0,027	-0,057	0,030	12	0	0,011	0,010	-0,002	0,01
3	0,006	0,018	0,003	0,047	0,005	13	0,024	0,030	0,034	0,017	0,034
4	-0,008	-0,008	-0,005	0,021	0,005	14	-0,009	0,029	0,001	0,016	0,001
5	-0,006	0,012	-0,003	0,041	0,005	15	-0,025	0,010	-0,015	-0,003	0,015
6	0,003	0,012	0	0,041	0,002	16	0,008	0,008	0,018	-0,005	0,018
7	0,023	-0,060	0,020	-0,031	0,021	17	-0,035	-0,006	0,025	-0,019	0,025
8	0,031	-0,049	0,028	-0,020	0,028	18	-0,025	-0,013	-0,015	-0,026	0,016
Écart moyen	-0,003	-0,029	X	X	0,018	Écart moyen	-0,010	0,013	X	X	0,016
19	X	-0,022	X	HT de : -0,004		23	X	0,010	X	OK 0,006	
20	X	-0,010	X	OK de : -0,008		24	X	0,033	X	HT de : 0,017	
21	X	0,012	X	OK de : 0,006		25	X	-0,018	X	HT de : -0,002	
22	X	0,003	X	OK de : 0,015		26	X	-0,046	X	HT de : -0,030	
9	-0,178	0,032	HT de : 0,160	HT de : 0,014		13	0,095	-0,029	HT de : 0,082	HT de : 0,013	
10	-0,150	0,041	HT de : 0,132	HT de : 0,023		14	0,071	-0,030	HT de : 0,055	HT de : 0,014	

Tableau 1 : Comparaison des écarts entre le plan de référence et le plan fait au Zeb Revo RT

Dans ce tableau, on peut constater que l'on obtient une précision de 1,8 cm pour la première zone et une précision de 1,6 cm pour la seconde zone, ce qui est tout à fait correct et en corrélation avec nos premiers tests. En revanche, pour la zone d'imprécision, on constate que les écarts sont moins importants entre les points de la première zone et ceux du plan réel. En effet sur nos quatre points, un seul est « hors tolérance » de 4 mm.

Ces mêmes points sur la seconde partie présentent une moins bonne précision par rapport au plan réel avec trois points sur quatre « hors tolérance » de 0,2 à 1,7 centimètre. Dans cette même zone d'imprécision, on retrouve les points 9 et 10 délimitant l'arrivée. Ils sont en plein milieu de la zone d'imprécision et ont les plus gros écarts. La position de cette arrivée dans l'ovoïde varie de 27 cm entre les deux plans. Le diamètre de l'arrivée quant à lui varie d'environ 5 cm. L'arrivée dessinée sur le plan de référence se trouve entre les deux arrivées dessinées sur les deux autres plans. Avec des écarts aussi importants, on obtient pour :

- Le point 9 sur le premier plan : hors tolérance de 16 cm en X et 1 cm en Y
- Le point 9 sur le second plan : hors tolérance de 8 cm en X et 1 cm en Y
- Le point 10 sur le premier plan : hors tolérance de 13 cm en X et 2 cm en Y
- Le point 10 sur le second plan : hors tolérance de 6 cm en X et 1 cm en Y

Cette précision n'est pas acceptable et ne rentre pas dans le cahier des charges.

III.3.1.3 Conclusion

Chacun des critères énoncés par le constructeur de l'outil s'est avéré exact ; ce scanner a très bien fonctionné sans éclairage et nous avons obtenu la précision attendue. De plus son utilisation s'est avérée plus pratique que celle du PX80 et le rendu du nuage de points plus simple d'analyse. Le premier test fait dans l'ovoïde de 16 m de long avec le saut à ski s'est révélé être un succès une fois des obstacles tous les 5 m placés. Aucune perte de signal, aucune dérive significative et aucune aberration. Le traitement a été très simple et correspondait au rendu fourni par le plan fait en méthode classique. Le second test fait dans l'ovoïde de 46 m de long de coffre à coffre en revanche ne s'est pas aussi bien déroulé.

Le placement d'obstacles n'a pas permis de finaliser le processus d'acquisition.

N'ayant pas pu faire d'autres tests sur ce type de site, j'en ai conclu que les problèmes survenus lors de l'acquisition peuvent être dû à plusieurs facteurs : le placement d'obstacle espacé de 8 m contrairement à 5 pour le premier test, des obstacles en question pas suffisamment importants pour « briser la linéarité » de l'ovoïde, dépassement des limites de l'outil : un linéaire d'ovoïde trop long, pas assez de structures différentes, incapacité à créer un nuage avec ce type de boucle.

Pour l'heure, je n'ai pas la réponse à ces différentes questions. J'aurais aimé effectuer des tests supplémentaires avec cet outil en ;

- Changeant l'emplacement des obstacles (les remettre à 5 m les uns des autres comme pour le premier test) ; et en cas de succès en les espaçant davantage au fil des acquisitions.
- Modifiant les obstacles, en fabriquant des accessoires plus légers et réglables par rapport à la position souhaitée dans l'ovoïde.
- Faisant plusieurs tests sans boucler aucun cheminement afin de voir si dans certains cas l'outil peut interpréter différemment son point de départ et son point d'arrivée.

Aujourd'hui, dans le cadre d'un relevé d'ovoïde de 46 m de long et grâce au plan fait au tachéomètre par les collègues, on sait que l'on a une zone d'incertitude de 21 m ce qui représente environ 55 % de la zone. Si j'avais recalé mes plans par rapport à l'arrivée commune située dans la zone d'incertitude et par rapport au terrain naturel, les emplacements du coffre et du tampon seraient décalés de 20 cm et il manquerait sur la longueur de l'ovoïde 20 cm. En outre, le début d'ovoïde a été constaté décalé d'un mètre lors des différentes acquisitions. Nous avons connaissance de ces écarts grâce au le plan de référence. Dans les conditions réelles, de tels écarts et incertitudes sont inexploitable et inenvisageables.

Ces données ont été obtenues avec une acquisition non conventionnelle de l'outil puisque nous n'avons pas bouclé l'acquisition. On peut penser qu'avec plusieurs tests de ce type sans boucle, l'outil aurait recalculé d'autres écarts, plus ou moins importants.

Bien que les résultats obtenus pour ce dernier test soient intéressants et tendent vers un résultat favorable, trop de facteurs sont encore à prendre en compte pour opter pour l'utilisation de cet outil en égout.

III.3.2 Le scanner BLK 2go

III.3.2.1 L'acquisition test

C'est dans le même égout test que les tests au BLK 2go ont été effectués avec deux particularités ; un éclairage adéquat pour l'acquisition en milieu sombre et cheminement non bouclé du relevé. À l'issue de plusieurs essais et recherches, un système d'éclairage de type spéléologie adapté qui pallie l'obscurité totale a été mis en place bien qu'il soit encore sous forme de prototype ([Annexe 52](#)).

Nous avons procédé aux tests dans l'égout contenant le saut à ski où nous avons effectué deux types de parcours ;

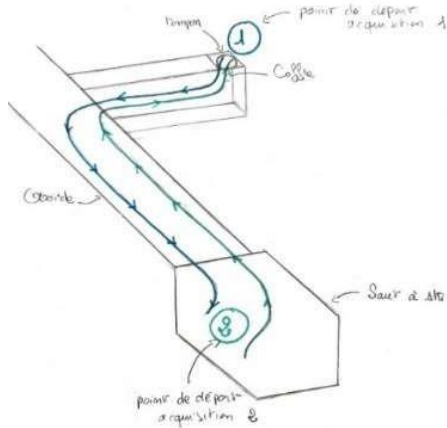


Figure 32 : Boucles et différents points de départ

Malgré l'inconvénient de la portée minimum, le rendu SLAM des acquisitions est très satisfaisant sur le terrain sans avoir la nécessité d'installer des obstacles. J'ai ensuite importées différentes acquisitions sur le logiciel de traitement Cyclone Register 360 afin d'analyser les nuages de points sous différents aspects ([Annexe 53](#)) ;

- Le nuage de points lui-même en plus du plan du site (vue en plan du nuage).
- Les coupes du nuage (une vue du nuage de points dont on peut faire vérifier l'orbite afin d'avoir plusieurs angles de visions)
- Les nuages de stations (visualisation des nuages de points à l'endroit des photos prises par l'outil et imposer au logiciel. La vue en 360° du nuage de points autour du scanner est également possible)
- Les photos prises avec les autres caméras lors de l'acquisition à un instant T (les Géotags)

Une fois les données analysées, un rapport d'assemblage est créé.

Ce rapport est nécessaire quand plusieurs nuages de points sont à assembler les uns aux autres ou lorsque l'on a levé des cibles connues en coordonnées tridimensionnelles afin de géoréférencer les nuages de points dans Autocad. Dans ce rapport, on retrouve notamment les résultats d'erreur, le pourcentage de recouvrement entre les différents nuages et les graphiques avec les positions des photos ([Annexe 54](#)). L'opération n'étant ni géoréférencée ni divisée en plusieurs nuages de points, ce rapport ne nous est d'aucune utilité pour ce cas —ci. Il est possible de générer les nuages de points sous différents formats. Je vais sélectionner le format .rcp afin qu'il soit lu par le logiciel Récap puis inséré dans Autocad.

Une fois le nuage de points inséré dans Autocad j'ai pu effectuer un premier contrôle visuel rapide en superposant mon nuage de points sur le plan de référence, le même contrôle ([Annexe 55](#)).

Le rendu visuel est très satisfaisant. Grâce à différentes tranches et vues, j'ai pu dessiner le plan topographique de la zone ainsi que le profil en long.

En réglant le mappage, la transparence et la taille des points du nuage, on obtient un bruit de nuage similaire à celui obtenu une fois les nuages de points du Zeb Revo RT générés dans Point Cab. Sur la zone traitée lors des tests, le recours à plusieurs tranches de différentes épaisseurs n'est même pas nécessaire tant le nuage est peu bruité ;

Figures 33 et 34 : Dessin des plans sur les nuages de points

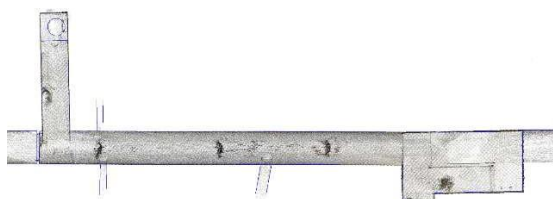


Figure 33



Figure 34

Les mêmes points significatifs ont été utilisés pour constater les écarts par rapport au plan de référence ([Annexe 56](#)). Ainsi avec l'aide d'un tableau, j'ai pu obtenir ces écarts par rapport au relevé en tachéométrie classique ([Annexe 57](#)). Sans utiliser le logiciel Point Cabet sans avoir fait de tranches, j'obtiens des résultats intéressants ; Pour le plan topographique, je n'ai que le point 7 qui présente un écart important (12 cm en X) dû à l'acquisition. Ce point est sur une des arrivées de l'ovoïde. Ces arrivées sont situées entre 10 et 20 cm du sol et pour que le scanner puisse les voir il faut se mettre au plus bas de l'ovoïde (presque au sol). Étant novice avec l'outil j'ai préféré ne pas le descendre aussi bas pour éviter qu'il n'effleure les dépôts. C'est ma façon de réaliser le levé qui a généré un écart aussi important. Par conséquent il n'est pas représentatif des écarts que peut créer le BLK2go.

Pour le plan topographique, j'obtiens un écart moyen de 3 cm ce qui n'est pas si aberrant lorsqu'on prend en compte l'écart du point 7, le fait de ne pas avoir fait de tranche et le fait d'être passé par Récap. Pour le profil en long j'obtiens un écart moyen de 1 cm ce qui est tout à fait satisfaisant et ce qui coïncide avec les caractéristiques de l'outil attendues ainsi qu'à notre cahier des charges. Étant donné ces résultats satisfaisants, je n'ai pas pris la peine de dessiner les autres livrables qui auraient été similaires à ceux produits par le Zeb Revo RT. Lors des dessins faits à partir des nuages de points du Zeb Revo RT, on a vu qu'avec des écarts similaires, les livrables produits entraient dans notre cahier des charges et avaient la précision attendue.

III.3.2.2 Test complémentaire

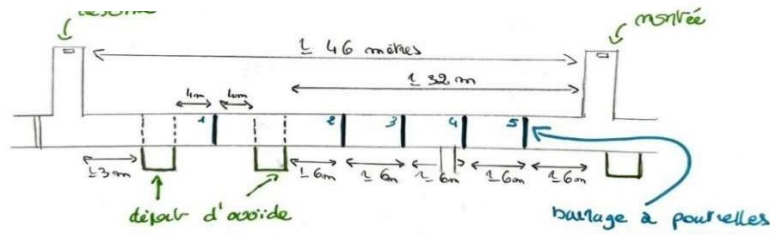
Le BLK2go étant celui qui a montré les meilleurs résultats lors des premières phases de tests j'ai également voulu le tester dans le tronçon de 46 m de linéaire d'ovoïde. Ce scanner ne nécessitant pas de cheminement par boucle, la planification de l'acquisition et les démarches mises en place ont nécessité moins de contraintes. Aussi de cette façon effectuer la descente par un tampon et la remontée par un second tampon était plus simple à réaliser. Voici le nouveau cheminement mis en place pour réaliser les acquisitions ([Annexe 58](#))

Comme pour notre précédente intervention, nous avons souhaité rentrer par un tampon et ressortir par un autre tampon, nous avons eu besoin de 4 personnes seules, les rôles des intervenants 1 et 3 vont légèrement changer ;

- Intervenant 1 ; il a pour objectif de surveiller le premier tampon, celui de la descente. Aussi il sera le premier à utiliser le scanner, il commencera l'acquisition en scannant le dessus de la plaque avec les quatre repères qui sont placés autour des plaques pour le géoréférencement et il devra tout en continuant l'acquisition descendre le scanner dans le coffre en rappel grâce à une corde jusqu'à ce que l'intervenant 2 le récupère.
- Intervenant 3 ; il a pour objectif une fois l'intervenant 2 dans le coffre de remonter en rappel avec une seconde corde le scanner toujours en acquisition. Une fois récupérer, il devra tout comme l'intervenant 1 scanner le contour de la plaque pour avoir les quatre autres repères tout en garantissant la sécurité du second tampon

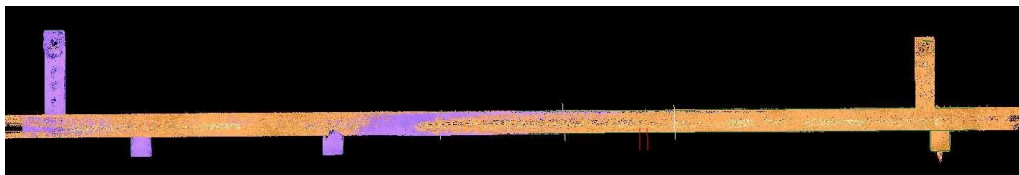
N'ayant pas eu besoin d'installer d'obstacle dans la première zone test, j'ai réalisé d'abord des acquisitions sans obstacle afin de voir jusqu'à quelle distance le scanner allait pouvoir se repérer. À environ une distance de 7 mètres après le coffre et sans grande surprise la trajectoire était aberrante et des dérives importantes sont apparues provoquant un arrêt du scanner. Nous avons eu donc encore recours à des obstacles. Lors de notre précédent passage, nous avons constaté la présence de plusieurs barrages à poutrelles dans notre tronçon d'égout. Les barrages à poutrelles sont des barres de métal plates d'un mètre de long pour 15 cm de large qui peuvent être installés dans les rails lorsqu'il y a une montée des eaux pour sécuriser l'intervention ([Annexe 59](#)). Les barrages à poutrelles étant des obstacles légèrement similaires aux étais, nous en avons à plusieurs endroits. Comme il était possible lors de notre intervention avec le Zeb Revo RT que les étais soient trop distants, nous avons placé 5 barrages à poutrelles afin de réduire les distances entre les obstacles ;

Figure 35 : Croquis du placement des obstacles



Malgré l'installation, les dérives et pertes de signal ont persisté, j'ai alors décidé de décomposer le tronçon en plusieurs morceaux successifs en veillant à avoir des zones de recouvrement suffisantes. Malheureusement, malgré de nombreuses acquisitions différentes j'ai n'ai pu obtenir que deux nuages de points exploitables. J'ai donc exploité les données d'un nuage de points allant du coffre de descente au milieu du tronçon et un second allant du coffre de montée au milieu du tronçon (Annexe 60) J'ai assemblé ces deux extraits de nuages de points en les superposant sur le plan fait par tachéomètre. On constate que ; le

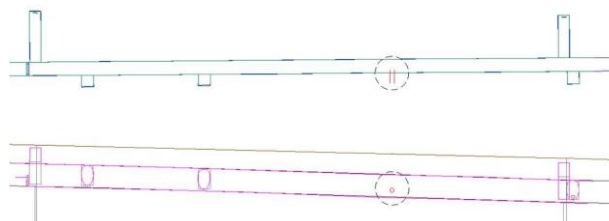
BLK2go a très bien assimilé l'entrée d'ovoïde. *Figure 36 : Assemblage des deux nuages de points*



Une absence de l'arrivée correspondant au point 7. Ce manque est handicapant pour la comparaison des écarts et de la zone d'incertitude dégagée par ces nuages de points.

Cependant l'arrivée de l'ovoïde nous permet de constater de nouveaux écarts. J'ai donc dessiné le plan topographique et le profil en long ;

Figure 37 : Comparaison des dessins du nuage de points et dessins du tachéomètre



Le raccord sommaire des plans est assez satisfaisant et similaire à celui d'une méthode traditionnelle. Il manque cependant la petite canalisation située entre l'arrivée d'ovoïde et le coffre de montée. L'absence de cet élément est rédhibitoire pour un rendu client puisque c'est précisément pour ce genre de détails que l'on nous missionne. L'étude des performances du BLK 2go se poursuit par l'analyse des écarts du plan topographique. Le plan est subdivisé en trois zones dans lesquelles sont placés les points significatifs où sont mesurés les écarts (Annexe 61) ;

- La première partie du plan (le dessin issu du premier nuage de points).
- La seconde partie du plan (le dessin issu du second nuage de points).
- La zone de recouvrement entre les deux parties de plans (correspond à zone d'incertitudes produites par la perte du signal lors des deux acquisitions).

Dans le tableau récapitulatif des écarts, on peut constater que l'on obtient une précision de 2,0 cm pour la première zone et une précision de 1 cm pour la seconde zone ;

Tableau d'analyse des écarts du plan topographique											
Comparaison de la première partie						Comparaison de la seconde partie					
	Δx	Δy	$\Delta x - Em$	$\Delta y - Em$	$\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$		Δx	Δy	$\Delta x - Em$	$\Delta y - Em$	$\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$
1	0,009	-0,061	0,012	-0,031	0,013	13	-0,031	0	-0,007	0,006	0,007
2	0,007	-0,060	0,010	-0,030	0,011	14	-0,018	0	0,006	0,006	0,006
3	0,007	0,006	0,010	0,036	0,011	15	-0,030	-0,021	-0,006	-0,015	0,006
4	0	0	0,003	-0,030	0,004	16	0,003	-0,006	0,027	0	0,027
5	-0,009	0,008	-0,006	0,038	0,007	17	-0,021	0	0,003	0,006	0,003
6	0,014	-0,003	0,017	0,027	0,018	18	-0,031	-0,007	-0,007	-0,001	0,007
7	0,009	-0,062	0,012	-0,032	0,013	19	-0,036	-0,009	-0,012	-0,003	0,012
8	0,033	-0,034	0,036	-0,004	0,036	20	-0,028	-0,008	-0,004	-0,002	0,004
9	-0,014	-0,003	-0,011	0,027	0,012						
10	0,009	0,001	0,012	0,031	0,013						
11	-0,052	-0,080	-0,049	-0,050	0,052						
12	-0,046	-0,071	-0,043	-0,041	0,045						
Écart moyen	-0,003	-0,030	X	X	0,0200	Écart moyen	-0,024	-0,006	X	X	0,009
21	0	0,004	X	OK de 0,016		21	0	0,004	X	OK de 0,005	
22	0	-0,023	X	HT de -0,003		22	0	-0,023	X	HT de -0,014	
23	0	0,009	X	OK de 0,011		23	0	0,009	X	OK de 0	
24	0	0,013	X	OK de 0,007		24	0	0,013	X	HT de 0,004	

Tableau 2 : Comparaison des écarts entre le plan de référence et le plan fait par BLK 2go

Ces résultats sont en corrélation avec nos premiers tests. Dans la zone d'imprécision, les écarts par rapport à la précision de la partie 1 sont de meilleure qualité puisqu'un seul des quatre points est hors tolérance de 3 mm. Les écarts par rapport à la précision de la partie 2 sont en revanche légèrement plus importants puisqu'on a 2 points sur quatre hors tolérance de 1 cm à 4 mm. N'ayant pas l'arrivée dessinée, il m'est impossible de dresser des écarts. Cependant, au vu des écarts moyens obtenus des deux parties et par rapport au plan topographique même les points se trouvant hors tolérance rentrent dans la tolérance de notre cahier des charges.

III.3.2.3 Conclusion

À travers toutes ces données, j'ai voulu reproduire le même schéma que pour le Zeb Revo RT afin d'avoir les mêmes éléments de comparaison entre les deux technologies choisies pour la dernière partie de mon étude. Je peux à présent dresser une conclusion quant à l'utilisation du BLK2go en espace confiné et plus particulièrement en ovoïde.

Les caractéristiques de l'outil que le constructeur annonce ont été validées par les expérimentations. La lumière prévue à l'effet des relevés en endroit sombre s'est révélée essentielle et efficace et a rendu des nuages de points très clairs et faciles à analyser. La légèreté de l'appareil rend l'utilisation fluide. Le premier test fait dans l'ovoïde de 16 m de long avec le saut à ski s'est révélé être un succès, et ce sans aucun recours aux obstacles prévus initialement, sans aucune perte de signal, ni dérive significative ni aberration.

Au regard de la configuration de l'ovoïde (assimilé à un couloir), j'ai pris la précaution de me positionner de côté lors de l'acquisition afin de masquer le moins possible les zones en amont et en aval du cheminement et avoir le maximum de points pour le racolage.

Hormis la mauvaise acquisition des arrivées situées dans l'ovoïde engendrée par mon procédé de relevé, les acquisitions ont été jusqu'à présent les plus probantes dans la première zone de test. Le traitement a été très simple et cohérent avec le rendu fourni par le plan élaboré par méthode classique. Mis à part le système d'éclairage qui représente un poids supplémentaire, l'outil en lui-même est le plus maniable. Le second test fait dans l'ovoïde de 46 m de long de coffre à coffre en revanche n'a pas obtenu les résultats escomptés. Malgré le placement d'obstacles répartis de façon qu'il n'excède pas 6 m les uns des autres, il n'a pas été possible d'effectuer le processus d'acquisition au complet et de dresser un document exploitable.

N'ayant pas pu faire d'autre test sur ce type de site, j'ai donc remis en cause les différents facteurs qui m'empêchent encore aujourd'hui de réaliser une acquisition complète, cette fois-ci en ayant supprimé le facteur des obstacles trop éloignés les uns des autres :

- Les obstacles en question pas suffisamment importants pour « briser la linéarité » de l'ovoïde
- Les limites de l'outil poussé dans ses retranchements ; un linéaire d'ovoïde trop long, pas assez de structure différente, incapacité à créer un nuage avec ce type de boucle

Des tests complémentaires ici aussi auraient été souhaitables comme changer le type d'obstacles, penser à fabriquer quelque chose de plus léger et qui serait réglable par rapport à la position souhaitée dans l'ovoïde. Comme dit précédemment, avec un ovoïde de 46 m de long

et grâce au plan fait par tachéométrie classique par les collègues on sait que l'on a de nouveau une zone d'incertitude qui mesure cette fois 12 m et qui représente environ 26 % de la zone. Cette zone d'incertitude est deux fois moins grande que celle obtenue par Zeb Revo RT. On obtient ces résultats parce que l'on avait en notre possession le plan fait par tachéomètre. Sans ce plan, nous n'aurions eu aucun moyen de récupérer cette arrivée à parten ayant chaîné au préalable pendant le relevé. Cependant nous ne pouvons pas nous permettre d'arrêter chacune de nos acquisitions pour chaîner toutes les arrivées présentes dans l'ovoïde. De plus, descendre avec de quoi réaliser un croquis rendrait l'opération compliquée puisqu'il faudrait ramener du matériel en plus et prendre des notes malgré l'insalubrité du milieu.

À l'issue de cette étude, exclusivement concentrée sur les scanners mobiles à main, j'ai pu tester trois solutions différentes ; le PX80, le Zeb Revo RT et le BLK 2go aucune expérimentation n'a permis d'élaborer des documents fiables et exploitables. Des tests complémentaires auraient pu être réalisés. Mais aujourd'hui trop de facteurs sont encore sans réponse et ne permettent pas de descendre avec pour seul outil un des scanners mobiles testés en égout. Si l'ensemble de mes tests pour l'une des solutions avait abouti, j'aurais réalisé des tests complémentaires afin d'être sûr de l'utilité de la solution en question. J'aurais également mis en place un processus d'utilisation adapté pour les relevés en égout, avec une méthode de géoréférencement que je développerais dans la partie suivante et pour finir des logiciels et méthodes de traitement qui nous auraient permis de fournir des livrables similaires à ceux faits par tachéomètre.

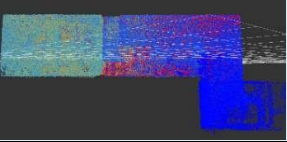
III.4 Bilan de l'ensemble de mes analyses de l'étude

III.4.1 Bilan comparatif des trois solutions testées

Pour mieux appréhender le déroulement de mes tests, j'ai dressé un tableau comparant tous les aspects de ces solutions ; *Tableau 3 : Comparaison des trois solutions testées*

	PX 80	Zeb Revo RT	BLK 2go
Photo			
Pratique	Le scanner articule en 2 parties (le scanner et le manche), qu'il faut fixer	Le scanner se trouve au bout de la poignée et est en une seule	Le scanner et la poignée forment un seul morceau ou les batteries sont

	ensemble, une tablette qui se fixe également sur le manche, un harnais qui permet d'installer le scanner sur le thorax et d'un réceptacle à batterie qui se fixe sur la ceinture	partie, une sangle permettant de transporter le disque dur externe lui est relié et sur le disque dur externe vient se placer une batterie et l'acquisition se guide avec une tablette	intégrée dans la poignée et l'acquisition se guide avec un téléphone
<i>Préférence</i>	3	2	1
Mode d'acquisition	Il suffit de tendre le manche de façon à ce qu'il soit au-dessus de la tête de l'utilisateur, de le maintenir à la verticale lors de l'initialisation et de l'arrêt et des changements de hauteurs de plafond et embrasure de porte et le reste de l'acquisition le maintenir à 45°. Faire des boucles et de grands virages, une démarche très lente et commencer dans la zone la plus dégagée possible.	Il suffit d'effectuer des mouvements de vas et viens de gauche à droite, plein de petits mouvements répétitifs, plus le bras reste en action plus le scanner arrivera à se repérer, insister sur les endroits ou plusieurs points seront nécessaires pour dessiner	Il suffit de tenir le scanner face à nous le plus droit et immobile possible et d'avancer à notre rythme
<i>Préférence</i>	3	2	1
Temps d'initialisation	Allumer et connecter le scanner = quelques secondes Lancer une acquisition = 20 secondes Terminer une acquisition = 5 secondes	Allumer et connecter le scanner = quelques secondes Lancer une acquisition = 5 secondes Terminer une acquisition = 5 secondes	Allumer et connecter le scanner = quelques secondes Lancer une acquisition = quelques secondes Terminer une acquisition = quelques secondes
<i>Préférence</i>	3	2	1
Temps d'acquisition maximum	5 à 10 minutes	5 à 10 minutes	Jusqu'à 35 minutes (toutes fois je n'ai fait que des acquisitions de 10 minutes)
<i>Préférence</i>	3	2	1
Visualisation intuitive au SLAM	Visualisation claire, les boucles de notre parcours sont bien représentées cependant les dérives apparaissent assez vite	Visualisation claire, de plus on peut trier les points par rapport à l'interprétation de leur altitude (visualiser un étage ou un autre sur une seule et même acquisition) de plus, avec un signal vert, orange ou rouge on peut savoir si le scanner a assez d'éléments communs pour se repérer	Visualisation claire, les boucles de notre parcours sont bien décrites visuellement et on peut régler de rendu à l'écran suivant les points que l'on veut voir suivant leurs altitudes
<i>Préférence</i>	3	1	2
Autonomie des batteries	3 batteries de 35 minutes	2 batteries de 1 h 30	3 batteries 45 minutes
<i>Préférence</i>	3	1	2
Temps de calcul du nuage	Temps d'acquisition * 5	5 minutes max par acquisition	environ 10 minutes pour une acquisition de 5 minutes
<i>Préférence</i>	3	1	2
Temps d'export	Temps d'acquisition * 5	Le temps d'un export USB	Le temps d'un export USB
<i>Préférence</i>	3	1/2	1/2
Utilisation d'un utilitaire pour les formats de fichiers	Fichier .las = programme interne pour passer en .laz Fichier .retrace = utilitaire para-scom pour visualiser trajectoire	Fichier .geoslam = utilitaire geoslam pour passer en .lza	en simple lecture sur cyclone
<i>Préférence</i>	3	2	1
Logiciel de traitement adapté	RECAP CLOUDCOMPARE POINCAB	RECAP CLOUDCOMPARE POINCAB	RECAP CLOUDCOMPARE POINCAB CYCLONEREGISTER
<i>Préférence</i>	3	2	1
Interprétation des dénivelés	NON :	OUI :	OUI :

			
<i>Préférence</i>	3	1/2	1/2
Cadre du géoréférencement (levé classique)	On peut placer des cibles géoréférencées par GPS, lever par station totale. Les cibles seront visibles sur le nuage de point cependant l'estimation de l'emplacement du centre de la cible reste compliquée à cause du bruit du nuage	Des éléments en commun géoréférencés peuvent servir de base pour géoréférencer le nuage (cela peut être plus compliqué que les cibles)	On peut placer des cibles géoréférencées par GPS, lever par station totale. Les cibles seront visibles sur le nuage de points.
<i>Préférence</i>	2	3	1
Cadre du géoréférencement (levé d'égout)	L'idée principale était de placer à la place des 4 clous utiliser aux tampons de descentes de stations, des cibles rondes de scanner plastifier géoréférencé par GPS	Relever la zone proche de la descente de stations des éléments en communes (bordure, mobilier urbain...) avec précision au tachéomètre et relever au GPS les stations utiliser pour ces révéler ainsi que les regards de descente	L'idée principale était de placer à la place des 4 clous utiliser aux tampons de descentes de stations, des cibles rondes de scanner plastifier géoréférencé par GPS
<i>Préférence</i>	2	3	1
Rendu en intérieur	En passant le traitement par des orthophotos, on obtient une précision de 1,3cm	Sans passer par le traitement par orthophoto mais avec un simple passage de Recap sur Autocad, on obtient une précision de 1,1 cm	Sans passer par le traitement par orthophoto mais avec un simple passage de Recap sur Autocad, on obtient une précision de 1,2 cm
Rendu en ovoïde (suivant résultats de l'étude)	Test 1 : NON Test 2 : NON	: OUI avec obstacle Test 2 : NON	Test 1 : OUI Test 2 : NON
<i>Préférence</i>	3	1	2
Apport des technologies	Caméra panoramique	-	- Plusieurs caméras - Capable de prendre des photos pendant l'acquisition à l'instant souhaité (Géotags)
Apport des logiciels	Avec le fichier retrace on peut analyser la trajectoire qu'a fait le scanner, on peut aussi voir l'emplacement des photos et sélectionner la vue avec le nuage de points, les photos ou les deux en même temps	-	Sur cyclone, on peut avoir trois visualisations différentes, le plan, vue en coupe (où l'on peut changer l'orbite), vue par photos, l'emplacement des photos et l'emplacement des géotags. On peut aussi lorsqu'on recalcule plusieurs fichiers, avoir un rapport d'assemblage avec des erreurs.
<i>Préférence</i>	2	3	1
BILAN :	Outils les moins satisfaisants par rapport à mes tests et utilisations	Outils avec des points hauts et des points bas se situe à mon sens entre les deux mais dépend de l'utilisation que l'on en fait	Outils les plus satisfaisants par rapport à mes tests et utilisations

III.4.2 Précision relative et précision absolue

L'idée principale était d'effectuer des relevés avec différentes solutions, de contrôler la forme de l'objet d'où le terme précision relative, de vérifier l'intégrité de la structure, d'arriver à générer la totalité de l'ouvrage avec exactitude en utilisant simplement un scanner mobile. On a vu au travers de cette étude que cela représentait la partie la plus complexe pour ce qui est du relevé en espace confiné et plus particulièrement en égout.

Le terme précision absolue lui se réfère à l'emplacement de l'objet dans l'espace et en l'occurrence son géoréférencement. Pour chaque solution, j'avais pensé à un système de géoréférencement qui n'aurait pas été plus complexe que pour un levé classique. La représentation juste et fiable n'ayant pu être obtenue, le géoréférencement n'est pas passé en phase opérationnelle.

III.4.3 Amélioration des techniques de relevé en milieu souterrain et espaces confinés

Aujourd'hui j'ai tous les éléments nécessaires pour répondre à la problématique de mon travail de fin d'études. Au travers de différents tests et analyses avec certains scanners mobiles utilisés, je suis capable d'améliorer les techniques de relevé en milieu souterrain et espaces confinés par acquisition mobile en 3D dans certains cas. Pour le relevé d'égout, de longs ovoïdes avec des structures similaires comme vu lors des tests, le scanner mobile n'apporte pas de solution. En revanche différents milieux confinés peuvent être relevés par solutions mobiles 3D. Il arrive qu'au milieu des relevés d'égouts les techniciens se retrouvent face à des chambres ou des ouvrages particuliers, qui demandent beaucoup de rigueur lors des relevés. Les relevés de ces espaces sont très chronophages, au regard des dimensions, des difficultés d'accès et de la quantité d'éléments à relever. Les mises en stations peuvent être multiples et doivent se faire sur étais comme en ovoïde ou sur trépied comme pour les relevés classiques et tous les éléments présents doivent être relevés ([Annexe 6](#)).

Pour ces relevés ponctuels, les solutions testées dans le cadre du projet seraient un gain de temps considérable. Les techniciens pourraient cheminer dans l'ovoïde et traverser les chambres ou ouvrages spécifiques en prenant des éléments au tachéomètre pour recalculer les relevés effectués au scanner mobile puis continuer les relevés d'ovoïdes. Parallèlement, les chambres ou espaces ponctuels seraient l'objet d'acquisitions exhaustives durant 5 à 10 minutes. En cas d'utilisation du Zeb Revo RT, des points communs sont suffisants. En cas d'utilisation du BLK 2go, des cibles doivent être mises en place.

Pour 10 relevés d'égout, on trouve une chambre ou un ouvrage spécifique à relever ce qui représente 10 % du relevé en espaces confinés.

Conclusion

Les résultats des tests que j'ai menés m'ont permis d'avancer et bien qu'ils n'aient pas été à la hauteur de mes attentes j'ai pu répondre à la problématique que Monsieur Valencik, Monsieur Charlet et moi-même avons choisie.

Le temps imparti ne m'a pas permis d'explorer d'autres pistes pourtant il existe d'autres possibilités d'études pour arriver à simplifier les actions et opérations menées en espaces confinés notamment au travers de la photogrammétrie ;

- Smartphone avec capteur lidar (photogrammétrie avec lidar à lumière structuré)
- Utilisation d'un drone enfermé dans une cage
- Utilisation d'un drone sur un chien-robot (the spot EAP, un robot lidar)

Ces technologies sont déjà commercialisées et pourraient être testées en espaces confinés. Avec l'avancement et le progrès des technologies existantes, les limites des scanners mobiles à mains seront repoussées et permettront de relever plusieurs mètres d'égout. Ces différents aspects peuvent être de nouvelles pistes de TFE en approfondissant encore les scanners mobiles ou en explorant le domaine de la Lasergrammetrie et de la photogrammétrie.

Je n'ai pas souhaité dans ce mémoire aborder les sujets relatifs aux prix, à la rentabilité, ni au rapport dépenses et bénéfices. Seul l'aspect technique m'intéressait pour me concentrer sur une solution à mettre en place. J'ai toujours été passionné par les relevés complexes et défiant les nouvelles technologies et je suis ravie d'avoir développé ce sujet d'études avec mes collègues en espérant pouvoir poursuivre dans ce domaine de recherche et leur apporter une réelle amélioration pour leurs conditions de travail.

Bibliographie

Ouvrages imprimés :

- Code du Travail, 2020. Annoté, commenté en ligne, 83^e édition. Dalloz. 3695 p.

Travaux universitaires :

- CARQUET Olivier. *Développement d'un scanner laser mobil 3D, de type sac à dos, spécialisé dans le relevé topographique en milieux confinés*. Mémoire de TFE d'ingénieur géomètre-topographe. Le Mans : École Supérieure des Géomètres Topographes, 2020.
- SCHOENMAKERS Marie. *Mise en place de nouvelles méthodes d'acquisition rapides au scanner pour les plans d'architecture, impacts sur la qualité et la précision*. Mémoire de PFE d'ingénieur géomètre-topographe. Strasbourg : Institut National des Sciences Appliquées, 2019.
- RICARD Bastien. *Zeb-Revo : étude d'un scanner dynamique mobile et de ses applications au sein d'un cabinet*. Mémoire de TFE d'ingénieur géomètre — topographe. Le Mans : École Supérieure des Géomètres Topographes, 2017.

Articles de périodiques imprimés :

- Revue Géomètre. *Scanners laser mobiles les solutions récentes*. GÉOMÈTRE. Des hommes, des espaces, des experts, 2021, volume, numéro 2189, p.33-48

Notice et guide :

- Institut National de Recherche et de Sécurité, Fédération Nationale des Syndicats de l'Assainissement. *Interventions en espaces confinés dans les ouvrages d'assainissement Obligation de sécurité*. Guide ED6026 (2010).
- Institut National de Recherche et de Sécurité. *Document de référence du dispositif CATEC. Dispositif de formation Certificat d'aptitude à travailler en espaces confinés dans le domaine de l'eau et de l'assainissement*. R472 (2020).
- FARO. *Faro Freestyle 2 Handheld Scanner*, www.faro.com. (2021)
- LEICA. *BLK2go Scanner portatif*, www.leica-geosysteme.com. (2021)
- GEXCEL. *Heron Lite Color*, www.gexcel.it. (Date manquante)
- PARASCOM PX80. *Support CYDIS. Guide d'utilisation*. (Date manquante)

Sites web :

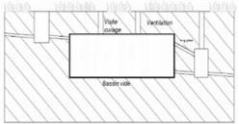
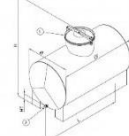
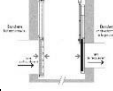
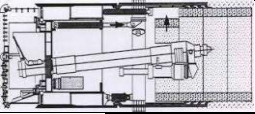
- Institut Nationale de Recherche et de Sécurité. Santé et sécurité au travail, [enligne].
- Ministère du Gouvernement. Gouvernement, Liberté, Égalité, Fraternité.
- SODEX protection. Protection et Formation, [en ligne].
- Scanner 3D SLAM. Scanner laser 3D mobile, Technologie SLAM, PX80,
- Village BIM, Blog technique des solutions BIM Autodesk, [en ligne].
- Hexagone, leica geosystème
- En savoir plus sur les normes [en ligne].
- Légifrance, Publications officielles, Journal Officiel, Arrêté du 16 septembre 2003 portant sur les classes de précision applicables aux catégories de travaux topographiques réalisés par l'État, les collectivités locales et leurs établissements publics ou exécutés pour leur compte

Tables des annexes

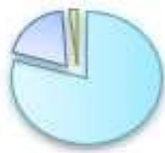
Annexe 1 Tableau des différents espaces confinés	63
Annexe 2 Comparaison normale de l'air.....	64
Annexe 3 Photos du Galaxy T1000.....	64
Annexe 4 Photos du OPTHECH Lynx SC 1-15.....	64
Annexe 5 Photos du scanner Faro.....	64
Annexe 6 Photos du PX80	64
Annexe 7 Plan de situation fourni par le client	65
Annexe 8 Carte des réseaux du CD 92.....	65
Annexe 9 Tronçon et canalisations de l'opération	66
Annexe 10 Plan topographique du client	66
Annexe 11 Plan topographique issu du nuage du MMS	67
Annexe 12 Tronçon et regards de descentes	67
Annexe 13 Feuille d'assainissement type	68
Annexe 14 Plan livrables	69
Annexe 15 Dessin de l'intérieur par PIC et PX80.....	69
Annexe 16 Comparaison plan intérieur par PIC et PX80.....	70
Annexe 17 Dessin de façade par topographie classique et PX80.....	71
Annexe 18 Comparaison plan de façade par tachéomètre et PX80.....	71
Annexe 19 Dessin du plan topographique par tachéomètre et PX80	72
Annexe 20 Comparaison plan topographique par tachéomètre et PX80.....	72
Annexe 21 Comparaison nuage de points du faro et du PX80 en chambre.....	72
Annexe 22 Mise en place d'une acquisition du PX80 sur poussette.....	72
Annexe 23 Visualisation du fichier retrace et du nuage par cloudcompare de l'intérieur.....	73
Annexe 24 Comparaison après nouveaux processus des deux plans d'intérieurs	73
Annexe 25 Visualisation du fichier retrace et du nuage par cloudcompare de la façade	74
Annexe 26 Comparaison après nouveaux processus des deux plans de façades.....	74
Annexe 27 Visualisation du fichier retrace et du nuage par cloudcompare de la topographie.....	74
Annexe 28 Visualisation du fichier retrace et du nuage par cloudcompare de la chambre hydraulique.....	75
Annexe 29 Comparaison après nouveaux processus des deux nuages de points de la chambre hydraulique	75
Annexe 30 Photo du tronçon choisi	75
Annexe 31 Analyse des nuages de points des 4 acquisitions	75
Annexe 32 Les différentes positions du PX80 et le nuage de points obtenus	76
Annexe 33 Les écarts produits par la position renversée du PX80	76
Annexe 34 Les écarts produits par la position verticale du PX80.....	76
Annexe 35 Photos de l'éclairage mis en place.....	77
Annexe 36 Comparaison avec l'éclairage et sans l'éclairage.....	77
Annexe 37 Le cahier des charges.....	77
Annexe 38 Tableau présentant les différentes solutions	89
Annexe 39 Photos du scanner Faro freestyle 3D.....	90
Annexe 40 Photos du Heron lite color	90
Annexe 41 Les différents types de dérives des différents points de départ.....	90
Annexe 42 Analyse de répétitions des dérives.....	91
Annexe 43 Photo des obstacles dans l'ovoïde.....	91
Annexe 44 Superposition du nuage de points et du plan topographique sommaire	91
Annexe 45 Constat des écarts avec des points significatifs.....	92
Annexe 46 Tableau d'écart de points premier test avec le Zeb Revo RT	93
Annexe 47 Plan sommaire des livrables attendus	94
Annexe 48 Croquis du processus d'acquisition mis en place.....	95
Annexe 49 Plan topographique des tests supplémentaires faits par tachéomètre.....	95
Annexe 50 Assemblage des deux nuages de points	95
Annexe 51 Plan topographique des différentes zones.....	95
Annexe 52 Photo éclairage spéléologue.....	96
Annexe 53 Différents modes de visualisations des nuages et des données sur Register cyclone 360.....	96
Annexe 54 Exemple de rapport d'assemblage sur Cyclone Register 360	96
Annexe 55 Superposition du nuage de points avec le plan topographique sommaire.....	100
Annexe 56 Constat des écarts avec des points significatifs.....	100
Annexe 57 Tableau d'écart de points premier test avec le BLK 2go	101
Annexe 58 Croquis du processus d'acquisition	102

Annexe 59 Croquis d'un barrage à poutrelle.....	102
Annexe 60 Assemblage des deux nuages de points	102
Annexe 61 Plan topographique des différentes zones.....	102
Annexe 62 Exemple de photos et de plans de chambres.....	103

Annexe 1 : Tableau des différents espaces confinés

Types de structure	Description	Image
Puits	Cavité physique verticale, connectant deux niveaux de profondeurs différentes, pénétrables ou non. Un puits peut-être naturel ou artificiel	
Bassin	Souvent appelé bassin de rétention des eaux pluviales, est une zone de stockage ou de récupération des eaux pluviales enterrées ou à ciel ouvert	
Cuve	Récipient destiné à la fabrication et au stockage de produits liquides. Elle peut être de forme cylindrique ou parallélépipédique	
Citerne	Aménagement, pouvant être souterrain, destiné à la collecte des eaux de pluie et à leur rétention afin d'en permettre une utilisation régulière	
Réservoir	Appelé aussi réservoir hydraulique c'est une enceinte de confinement de l' eau permettant son stockage pour une utilisation ultérieure.	
Château d'eau	Construction destinée à entreposer l' eau , elle est placée en général sur un sommet géographique pour permettre de la distribuer sous pression .	
Vannes hydrauliques	Dispositif destiné à contrôler (stopper ou modifier) le débit d'un fluide liquide, gazeux	
Chambre de répartition	Bassin muni d'une valve répartitrice qui permet d'alimenter un élément épurateur de plusieurs sections	
Chambres	Aussi appelées chambres de tirage, caisse enterrée et fermée permettant de tirer des câbles ou des fibres optiques dans des fourreaux .	
Réacteurs d'industrie	Cuve sous pression. Cette dernière permet alors la réalisation de réactions ou de transformations chimiques	
Vide sanitaire	Espace accessible ou non, situé entre le sol et le premier plancher du bâtiment et fait office d'espace tampon entre le sol et le premier plancher du bâtiment	
Tunneliers	Un tunnelier est une machine permettant d'excaver des tunnels dans des sols et des roches variées allant du sable au granit	
Égouts	Le plus fréquemment souterrain, un égout est une canalisation ou une conduite en maçonnerie destinée à collecter et à évacuer les différentes eaux	

Annexe 2 : Comparaison normale de l'air



78% : Azote
20.9% : Oxygène
1.1% : Gaz rares

Annexe 3 : Photos du Galaxy T1000



Annexe 4 : Photos du Opthech lynx SC 1-15



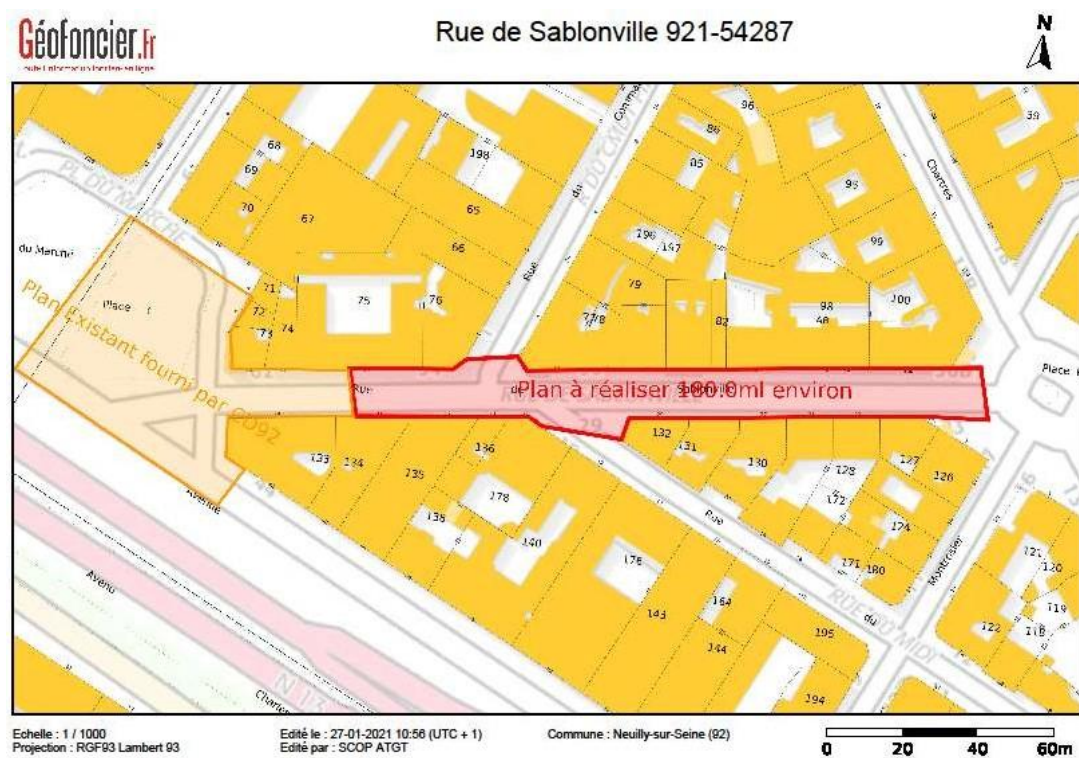
Annexe 5 : Photos du scanner Faro



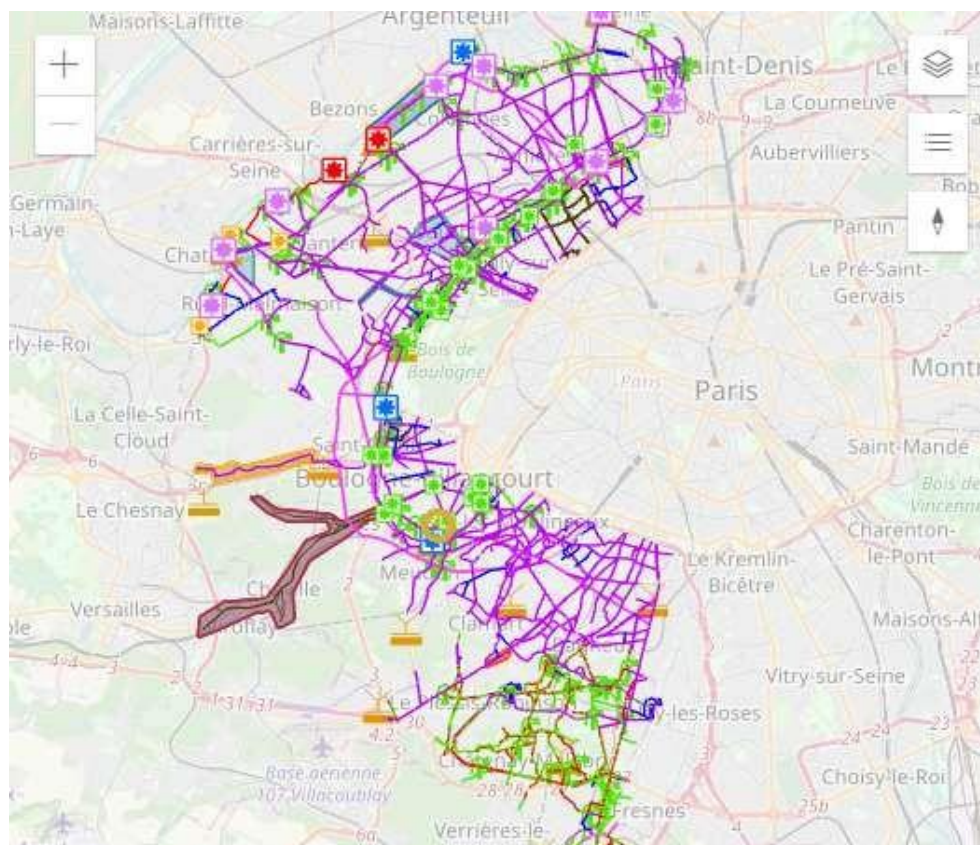
Annexe 6 : Photos du PX 80



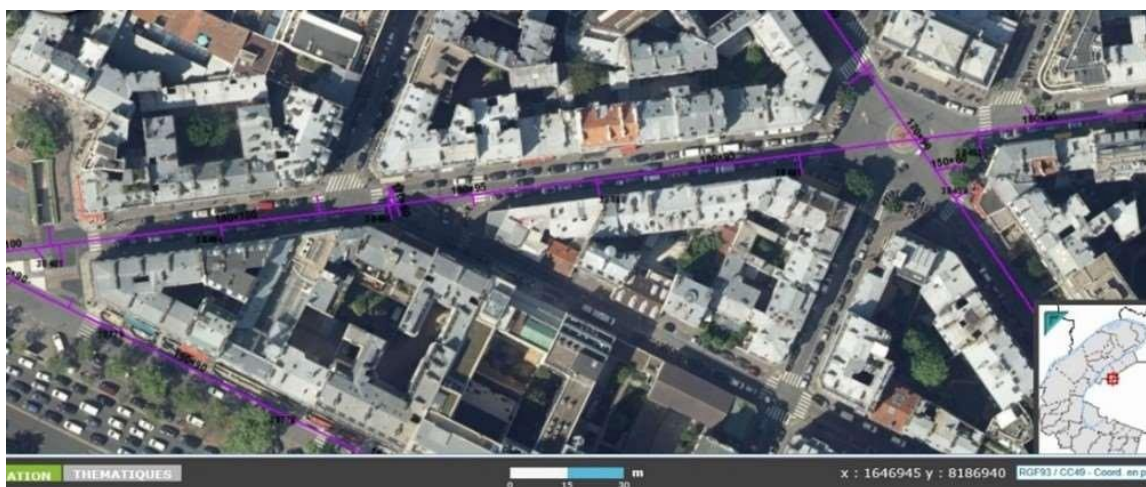
Annexe 7 : Plan de situation fourni par le client



Annexe 8 : Carte des réseaux du CD 92



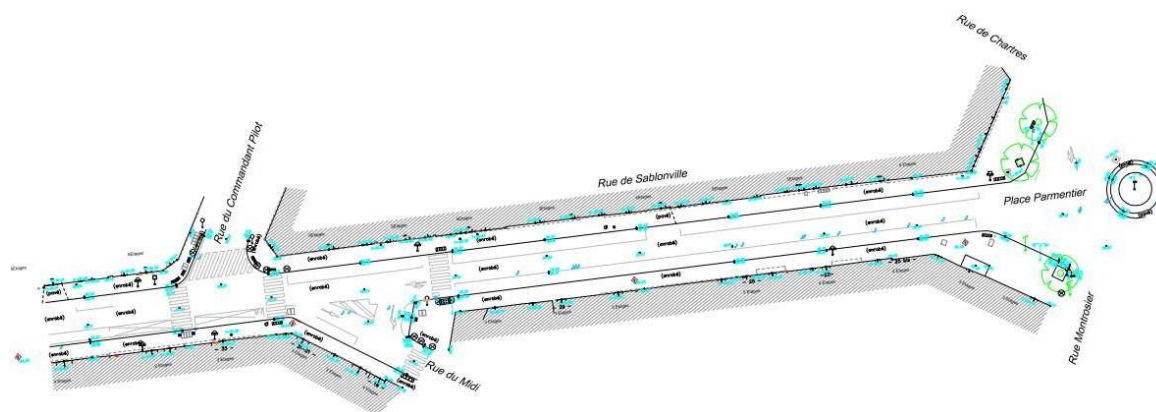
Annexe 9 : Tronçon et canalisations de l'opération



Annexe 10 : Plan topographique du client



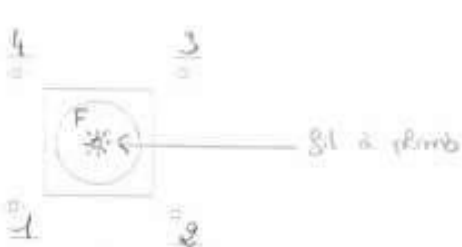
Annexe 11 : Plan topographique issu du nuage du MMS



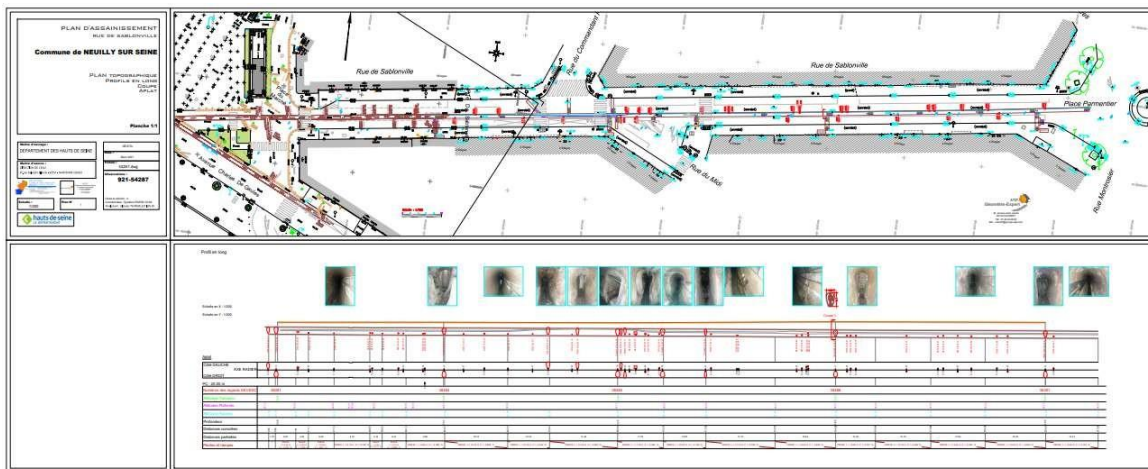
Annexe 12 : Tronçon et regards de descentes



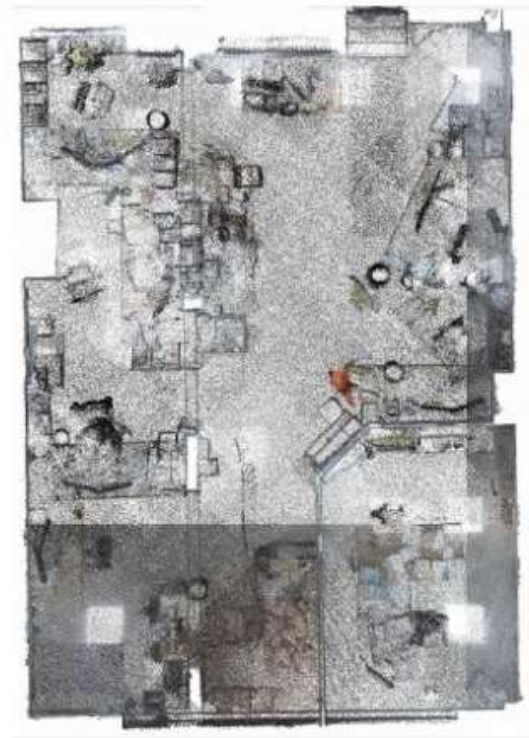
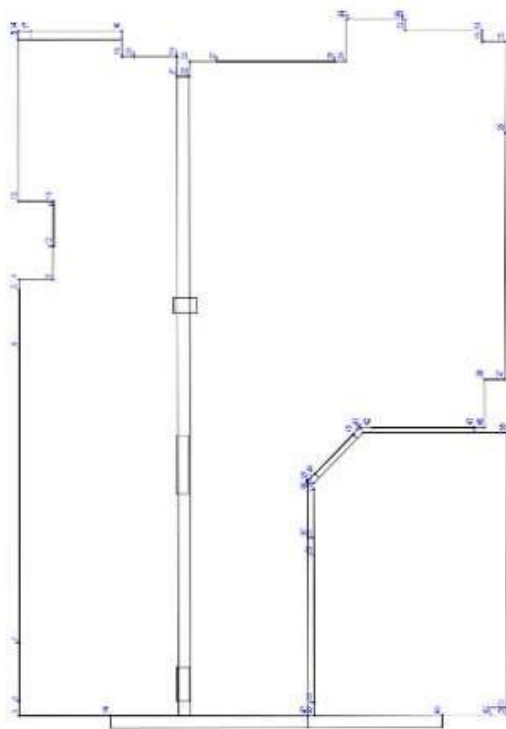
Annexe 13 : Feuille d'assainissement type

DOSSIER N°: <u>54984</u> Commune: <u>Neuilly-sur-Seine</u> Date: <u>25 08 21</u>	 A.T.G.T. Société de Géomètres-Experts 32 Avenue Jean Jaurès 92140 CLAMART Tél : 01 46 42 38 00 Fax : 01 46 42 72 24 Mail : clamart@atgt.fr																																								
Fil n°: <u>1</u>																																									
Croquis N° SEVESC: <u>38491</u> 																																									
Cotes entre points	Cotes sur fil																																								
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%;"><u>1</u></td><td style="width: 10%;"><u>2</u></td><td style="width: 10%;"><u>562</u></td><td style="width: 10%;"></td></tr> <tr><td><u>2</u></td><td><u>3</u></td><td><u>482</u></td><td></td></tr> <tr><td><u>3</u></td><td><u>4</u></td><td><u>668</u></td><td></td></tr> <tr><td><u>4</u></td><td><u>1</u></td><td><u>442</u></td><td></td></tr> <tr><td><u>2</u></td><td><u>4</u></td><td><u>439</u></td><td></td></tr> <tr><td><u>1</u></td><td><u>3</u></td><td><u>438</u></td><td></td></tr> </table>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>562</u>		<u>2</u>	<u>3</u>	<u>482</u>		<u>3</u>	<u>4</u>	<u>668</u>		<u>4</u>	<u>1</u>	<u>442</u>		<u>2</u>	<u>4</u>	<u>439</u>		<u>1</u>	<u>3</u>	<u>438</u>		<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"><u>1</u></td><td style="width: 10%;"><u>253</u></td><td style="width: 10%;"></td></tr> <tr><td></td><td><u>2</u></td><td><u>439</u></td><td></td></tr> <tr><td></td><td><u>3</u></td><td><u>430</u></td><td></td></tr> <tr><td></td><td><u>4</u></td><td><u>334</u></td><td></td></tr> </table>		<u>1</u>	<u>253</u>			<u>2</u>	<u>439</u>			<u>3</u>	<u>430</u>			<u>4</u>	<u>334</u>	
<u>1</u>	<u>2</u>	<u>562</u>																																							
<u>2</u>	<u>3</u>	<u>482</u>																																							
<u>3</u>	<u>4</u>	<u>668</u>																																							
<u>4</u>	<u>1</u>	<u>442</u>																																							
<u>2</u>	<u>4</u>	<u>439</u>																																							
<u>1</u>	<u>3</u>	<u>438</u>																																							
	<u>1</u>	<u>253</u>																																							
	<u>2</u>	<u>439</u>																																							
	<u>3</u>	<u>430</u>																																							
	<u>4</u>	<u>334</u>																																							
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">Nivellement</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td><u>1</u> / prisme</td> <td><u>2383</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>/ prisme</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>/ prisme</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>/ prisme</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Nivellement				<u>1</u> / prisme	<u>2383</u>			/ prisme				/ prisme				/ prisme																							
Nivellement																																									
<u>1</u> / prisme	<u>2383</u>																																								
/ prisme																																									
/ prisme																																									
/ prisme																																									

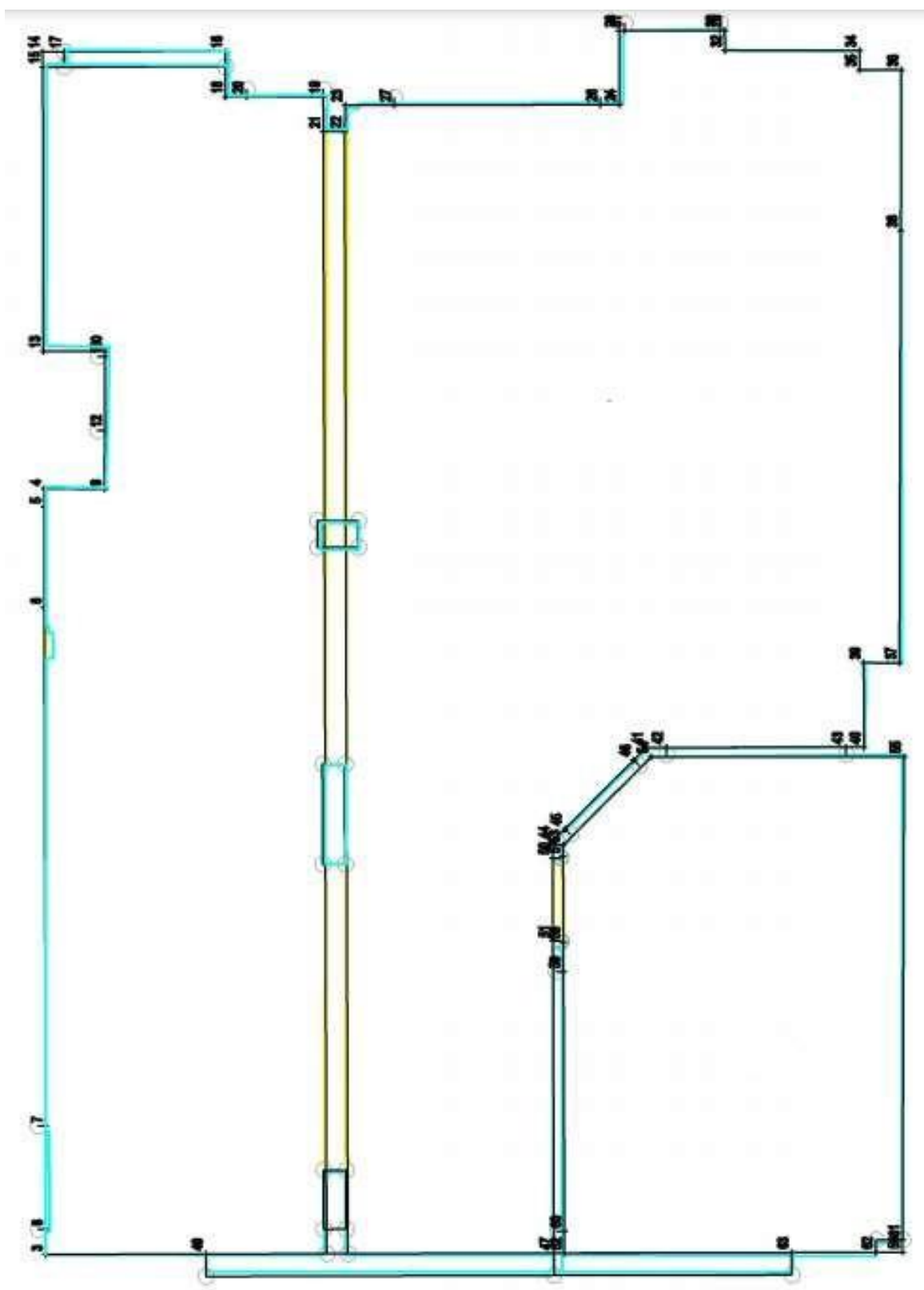
Annexe 14 : Plan livrable



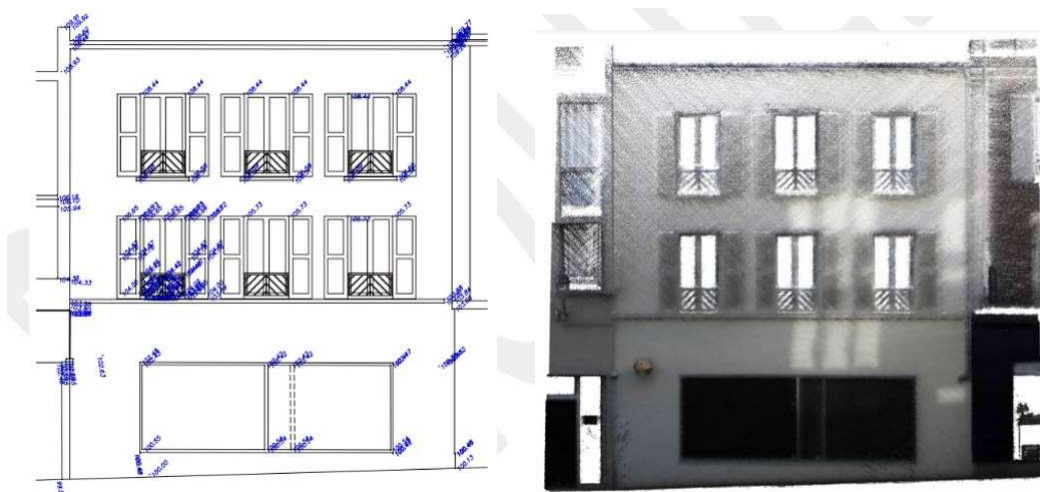
Annexe 15 : Dessin de l'intérieur par PIC et PX 80



Annexe 16 : Comparaison plan d'intérieur par PIC et PX80



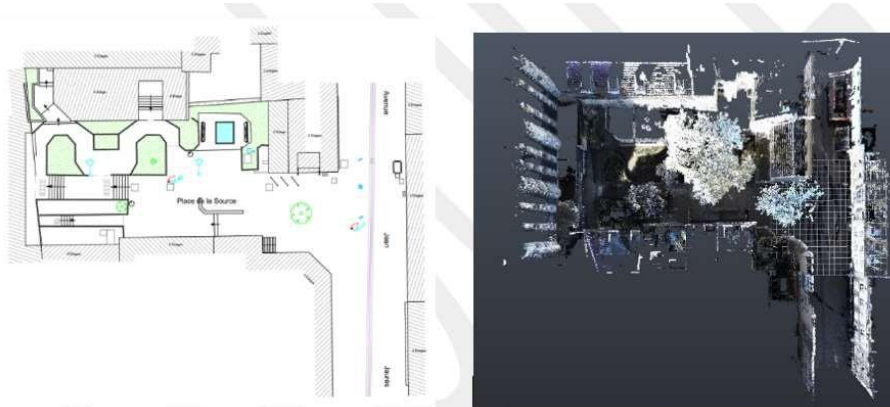
Annexe 17 : Dessin de façade par topographie classique et PX 80



Annexe 18 : Comparaison plan de façade par tachéomètre et PX 80



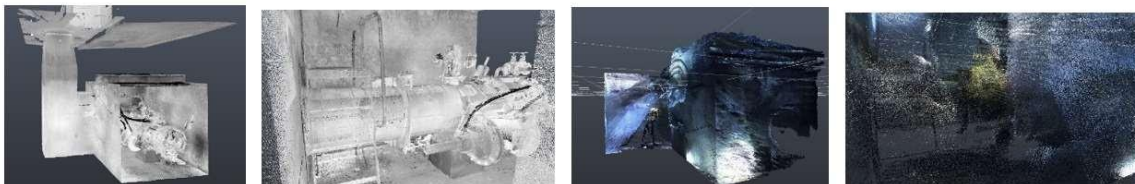
Annexe 19 : Dessin du plan topographique par tachéomètre et PX 80



Annexe 20 : Comparaison plan topographique par tachéomètre et PX 80



Annexe 21 : Comparaison nuage de points du faro et du PX 80 en chambre

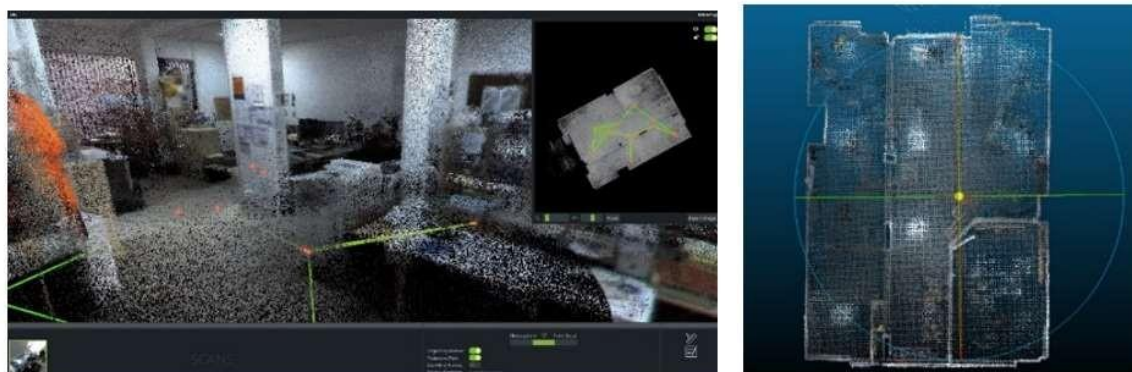


Annexe 22 : Mise en place d'une acquisition du PX 80 sur poussette

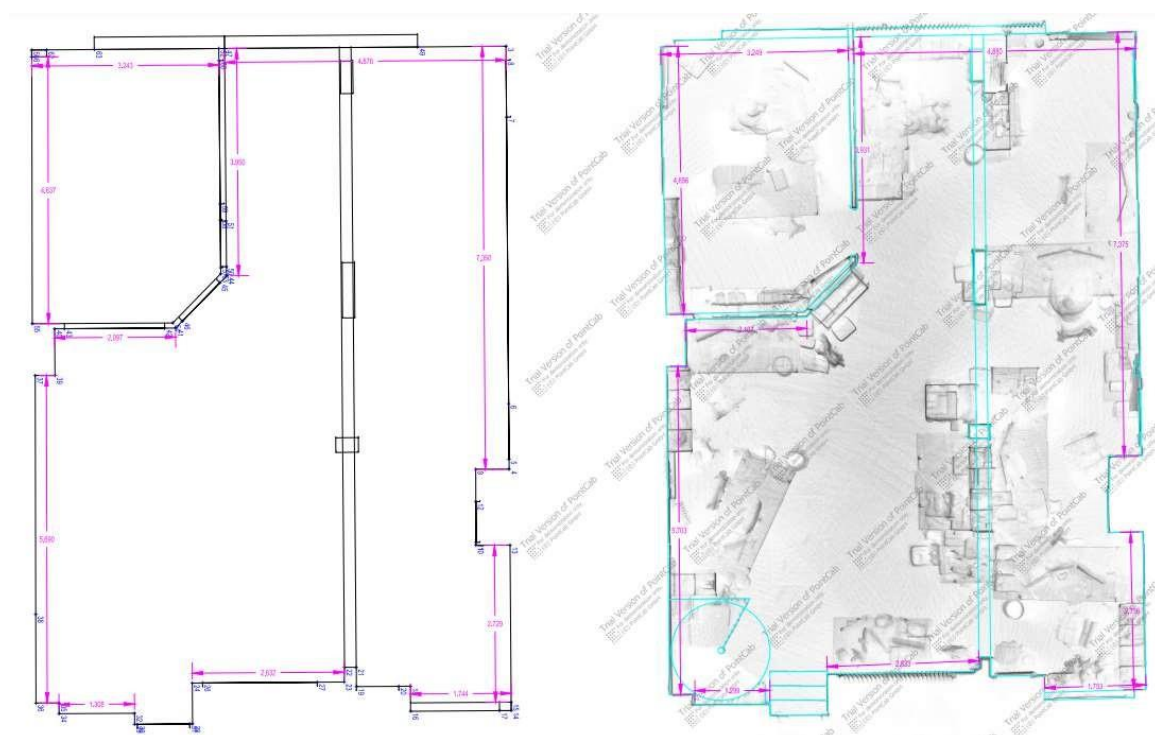


Annexe 23 : Visualisation du fichier retrace et du nuage par cloud compare

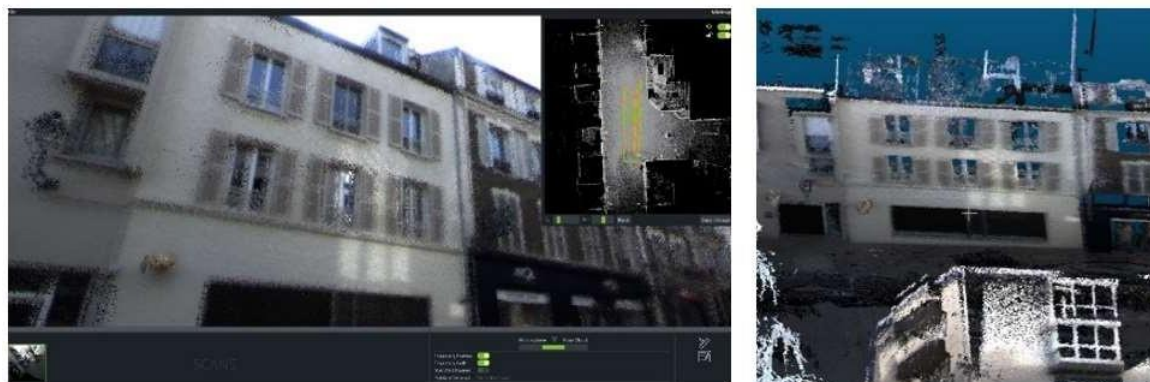
de l'intérieur



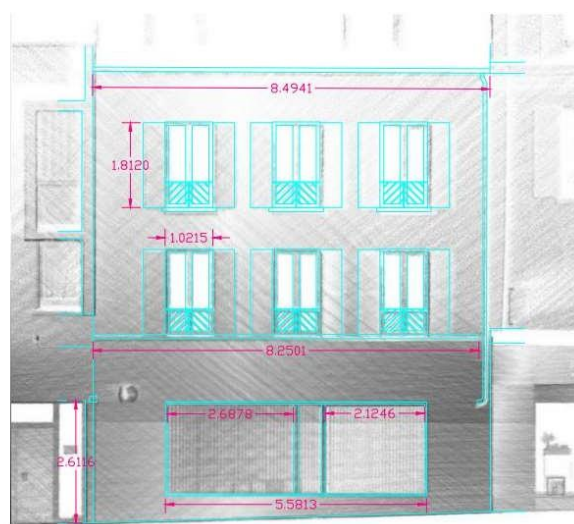
Annexe 24 : Comparaison après nouveaux processus des deux plans d'intérieurs



Annexe 25 : Visualisation du fichier retrace et du nuage par cloud compare de la façade



Annexe 26 : Comparaison après nouveaux processus des deux plans de façades



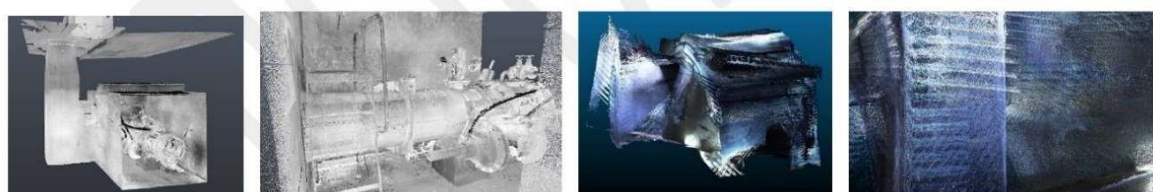
Annexe 27 : Visualisation du fichier retrace et du nuage par cloud compare de la topographie



Annexe 28 : Visualisation du fichier retrace et du nuage par cloud compare



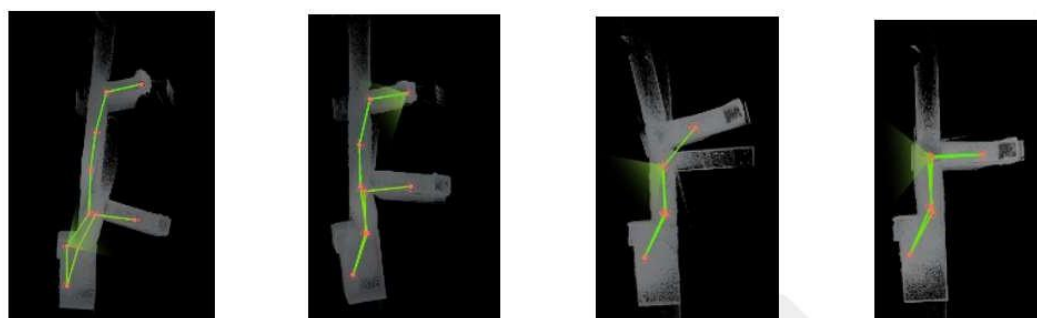
Annexe 29 : Comparaison après nouveaux processus des deux nuages de points de la chambre hydraulique



Annexe 30 : Photo du tronçon choisi



Annexe 31 : Analyse des nuages de points des 4 acquisitions



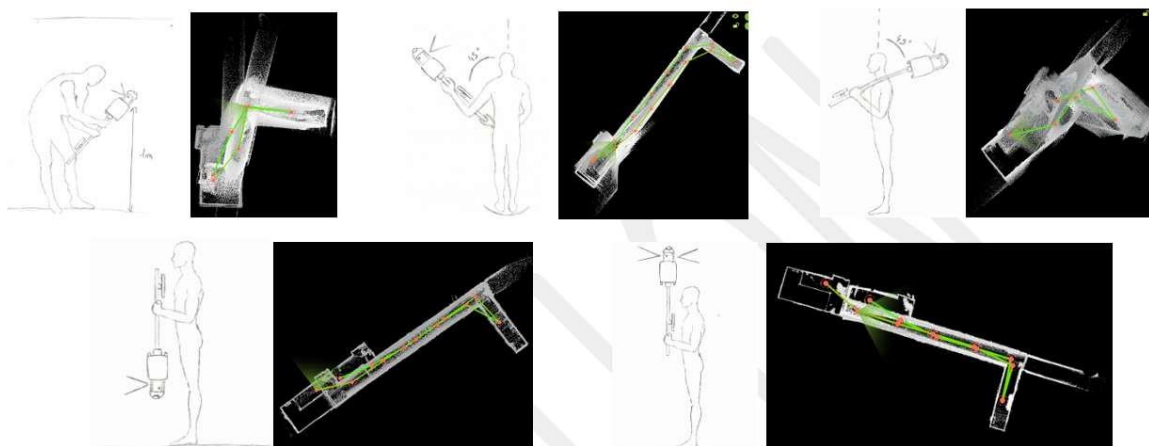
Acquisition 1

Acquisition 2

Acquisition 3

Acquisition 4

Annexe 32 : Les différentes positions du PX 80 et le nuage de points obtenu



Annexe 33 : Les écarts produits par la position renversée du PX 80



Annexe 34 : Les écarts produits par la position verticale du PX 80



Annexe 35 : Photos de l'éclairage mis en place



Annexe 36 : Comparaison avec l'éclairage et sans l'éclairage



Annexe 37 : Cahier des charges



CAHIER DES CHARGES

RÉALISER EN VUE DE SÉLECTIONNER UN
SCANNER MOBILE

2021

GROUPE A.T.G.T

INTERVENTIONS EN MILIEUX CONFINÉS

QUI SOMMES NOUS ?

Le Groupe ATGT est présent dans tous les domaines de l'aménagement du territoire

« Depuis 70 ans nous cultivons l'esprit coopératif, emprunt des valeurs d'entrepreneuriat, d'engagement, de partage, d'entraide et solidarité qui nous permet d'apporter la qualité de service et un engagement durable à nos clients. Les femmes, les hommes, le réseau de partenaires national et international nous offre la possibilité de répondre par une expertise forte aux maîtres d'ouvrage. C'est dans ce contexte que vous serez accueillis chez nous, très coopérativement. »



A travers ses huit entités - ATGT Géomètre-Expert (partenaire), ATGTSM (partenaire), ATGT Topo3D, ATGT Ingénierie, GEOS IMAGES, SEMATGT (Tunisie), ATGT Maroc et KGI (Cambodge) - le Groupe ATGT vous aide à comprendre le territoire

AUJOURD'HUI LE GROUPE ATGT C'EST :



12500000

Chiffre d'affaires en
euros



130

Collaborateurs



70

Années d'expérience



5

Nombre de pays

Les domaines du Groupe :

- Expertise foncière
- Assistance juridique
- BIM & Plans d'intérieurs
- Topographie
- Auscultation
- Bathymétrie
- Conseil
- Technologies aériennes
- Métrologie



ASSAINISSEMENT ET EAU :

Le Groupe ATGT réalise diverses opérations topographiques sur les infrastructures d'Eau et d'Assainissement ainsi que sur les réseaux de télécommunication et d'énergie

Détection et géolocalisation des réseaux enterrés par des méthodes non destructives. Ces opérations s'appliquent à tous les types de câbles et conduites enterrés.

Report des réseaux concessionnaires (Eau, EDF, GDF, Télécom...) sur le plan topographique existant, avec indication des caractéristiques de chaque réseau.

Relevé en souterrain de tout point caractéristique d'un réseau et des ouvrages. Profils en longs, coupes, sens d'écoulement, étude de fonctionnement .

LES MILIEUX CONFINÉS

Définis par 5 critères :

- 1) Accès difficile
- 2) Pas prévu pour la vie de l'homme
- 3) Concerne une activité ponctuelle
- 4) Présente des risques de gaz, de chute ou ceux liés à l'interventions elle même
- 5) L'air y circule mal



LES ÉGOUTS :

Représente aujourd'hui 20% des opérations menées par le Groupe ATGT

* Le plus fréquemment souterrain, un égout est une canalisation ou une conduite en maçonnerie destinée à collecter et à évacuer les différentes eaux, qu'elles soient naturelles telles que les eaux de ruissellement et les eaux pluviales ou produites par l'activité humaine comme les eaux de lavage, les eaux de drainage ou encore les eaux usées (eaux ménagères et eaux-vannes ; eaux grises) *



Afin de rester à la pointe de la technologie et de faciliter le travail de nos collaborateurs, le Groupe ATGT souhaite mettre en place une nouvelle technique d'acquisition 3D des ouvrages d'égouts

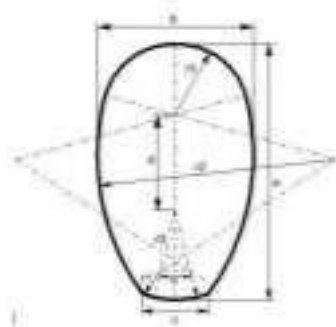
Aujourd'hui les relevés en égouts restent complexes à mettre en place en particulier à cause de l'hostilité de ce milieu.

Nous sommes donc en recherche d'un outil qui serait capable de représenter en trois dimensions des structures bien spécifiques;

- Des ouvrages de diamètres variables;

ils sont généralement en forme d'ovoïde et d'une hauteur moyenne d'environ 1m80 (hauteur d'homme) et vont jusqu'à 1.60m pour les ovoïdes dit visitables. Les ouvrages de tailles inférieures seront définis comme non visitables à cause des difficultés liés à la hauteur (pour les mises en station et le passage des techniciens).

L'ovoïde est une forme complexe défini mathématiquement qui peut être difficile à représenter de manière parfaite



- La longueur des ouvrages à relever varie en fonction des tronçons demandés par le commanditaire. On peut effectuer des relevés de 10 mètres linéaires jusqu'à des kilomètres, notamment pour les plans d'assainissement d'une commune. Réalisés dans le Département des Hauts-de-Seine donc limitrophe de la Seine, il n'est pas rare de nous rendre dans des collecteurs (canalisations pouvant aller de 3 à 6 mètre de diamètre)



Nous pouvons être amené à relever des ouvrages particuliers :

- chambres à sable
- chambres de répartitions
- des points de chute et sauts à ski
- portes à vannes ou portes à bascules.

On peut trouver des ouvrages exceptionnels comme les rivières souterraines.



On retrouve en égouts des équipements ou autres structures qu'il est important de représenter avec exactitude:

- toutes les arrivées, conduits, canalisations qui se déversent dans l'ovoïde principal. Ces arrivées peuvent être à des hauteurs différentes et de diamètres différents. Le plus souvent elles sont situées à une hauteur maximale d'un mètre et mesurent entre 10 et 100 centimètres de diamètre.
- des passages de câbles ;



- des capteurs de surveillance mis en place par l'exploitant (pour le débit, l'humidité, la vitesse, la pression, ...)



Les revêtements sont principalement en béton pour les plus récents ou en pavés ou en briques pour les plus anciens.

Les ouvrages sont pour la plupart recouverts d'une couche de matière (poussières, humidité, boues séchée, matière fécale, insectes ...) allant jusqu'à 1 cm.

De la même façon, lorsque nous cheminons en égouts, nous marchons dans les eaux usées. Cela implique que le sol est glissant et peut vite être encombré par différents objets qui s'agglutinent et formes des batardeaux.



Les accès aux galeries se font principalement depuis les tampons par des échelles (il est rare de trouver un accès par escalier).



L'éclairage y est inexistant, seules sont utilisées les lampes frontales placées sur les casques. L'éclairage naturel est celui produit par l'ouverture des affleurants (plaques, tampons,...)



TYPES DE SCANNERS

Notre choix se porte sur des scanners mobiles, bien que les scanners statiques apportent de meilleures précisions. Avec des scanners statiques nous n'échapperions pas aux les problèmes de mise en station. Notre méthode consiste en des acquisitions capable de suivre très précisément le cheminement y compris dans les angles les plus exiguës afin d'obtenir un nuage de points des plus fidèles

La configuration des égouts (accès et canalisations) ne permet pas de descendre de scanner mobile sur chariot. En effet la descente de l'outil et le radier souvent abîmés des ovoïdes ne seraient pas propices à son utilisation.

Pour des question de hauteurs, les scanners mobiles sac-à-dos (back-pack), ne seraient pas utilisables dans les ovoïdes , le back-pack étant en moyenne de 10cm à 50cm plus haut que le technicien qui l'installe sur son dos.

Nous préconisons donc des scanners laser mobiles à main.

TYPES DE TECHNOLOGIES

Aucune technologie est imposée. Le scanner peut aussi bien fonctionner par décalage de phase, par temps de vol ou par algorithme SLAM (Simultaneous Localization and Mapping).

Il peut également combiner deux technologies.

La présence d'une caméra n'est pas imposée cependant elle offre un certain avantage en obtenant des nuages de points "colorisés" ou plus contrastés.

TYPES DE CAPTEURS LIDAR

Des tests ont été effectués avec des capteurs lidars Velodyne. Ces derniers n'ont pas montré des résultats satisfaisants, cependant nous ne sommes pas opposées à d'autres scanners ayant ce type de capteur si les conditions du milieu confiné lui sont favorables.

ÉTANCHÉITÉ

Pour permettre de caractériser le niveau d'étanchéité d'un produit, une norme internationale a été définie. Cette norme définit plusieurs niveaux (de 0 à 9) auxquels correspondent des niveaux de résistance aux éléments solides ou liquides.

Cette normalisation s'exprime sous la forme d'une codification IPXY où X correspond au niveau de protection contre les corps solides et Y contre l'eau.

Le premier chiffre va correspondre aux protections contre les solides et le second chiffre sera pour les protections contre l'eau avec, dans les deux cas, un niveau 0 correspondant à aucune protection.

Les niveaux de protection

Niveaux	Contre les solides	Contre l'eau
0	Aucune protection	Aucune protection
1	Protection contre les corps étrangers solides (diamètre à partir de 50 mm)	Protection contre les gouttes d'eau verticales
2	Protection contre les corps étrangers solides (diamètre à partir de 12,5 mm)	Protection contre les gouttes d'eau boîtier incliné à 15°
3	Protection contre les corps étrangers solides (diamètre à partir de 2,5 mm)	Protection contre les retombées d'eau résultant de pulvérisation, inclinaison de 60° par rapport à la verticale
4	Protection contre les corps étrangers solides (diamètre à partir de 1,0 mm)	Protection contre les éclaboussures d'eau de tous les côtés
5	Protection contre la poussière	Protection contre les jets d'eau quel que soit l'angle de projection
6	Hermétique à la poussière	Protection contre les forts jets d'eau
7		Protection contre l'immersion temporaire dans l'eau (la durée doit alors être précisée dans les spécifications du produit)
8		Protection contre l'immersion durable dans l'eau

Dans la mesure du respect des ces critères nous recommandons un outil d'un niveau de protection IP67.

VISIBILITÉ ÉCLAIRAGE

Un capteur qui n'est pas gêné par le manque d'éclairage est bien sûr un réel avantage pour l'utilisation en milieux confinés.

Toutefois, si l'acquisition en milieux confinés représente un problème quant à l'utilisation du scanner, il sera nécessaire de prévoir un éclairage statique ou mobile qui permettra son utilisation en égoût.

POIDS / MANIABILITÉ

Pour cette configuration de relevé il est important d'avoir un outil qui soit le plus maniable et léger possible. C'est aussi la raison pour laquelle nous ne voulons pas de Back-Pack.

Un scanner n'excédant pas un poids de 3kg serait adapté à tous types d'intervenants en espace confinés.

L'équipement individuel préconisé par la formation CATEC (combinaison, harnais de sécurité, détecteur de gaz, masque auto-sauveteur, cuissarde, casque, lampe frontale) représente déjà un poids et un volume certains; d'importants scanners seraient difficiles à utiliser.

Une installation rapide de l'outil serait aussi plus favorable car l'utilisateur ne peut l'installer qu'une fois descendue lui-même.

BRUIT DU NUAGE

Le bruit d'un nuage de points peut s'avérer être des plus contraignants. En effet il représente une incertitude de mesure. Déceler les points exacts des aberrations sera compliqué avec un nuage de points très bruité. Nous préconisons donc un nuage de points bruité d'une valeur n'excédant pas 3cm à courte distance.

PORTÉE

La configuration des égouts ne nécessite pas de scanner pouvant acquérir des données à 100 mètres.

La portée maximale pour ce type de relevé n'est pas limitée.

En revanche la portée minimale doit être de 0. L'ovoïde étant un espace très réduit par rapport à l'utilisateur, un scanner ne pouvant pas prendre de points à moins de 0.50 mètre ne serait pas du tout adapté.

Portée maximum préconisée : Non renseigné

Portée minimum préconisée : 0 mètre

INTERPRETATION DENIVELÉE

Les livrables étant à fournir en 3D, il est primordial que le scanner interprète les différences de dénivelées des différents points du nuage.

Nous avons besoin d'un outil qui interprète la descente en égout, le passage dans les canalisations et la remontée en extérieur.

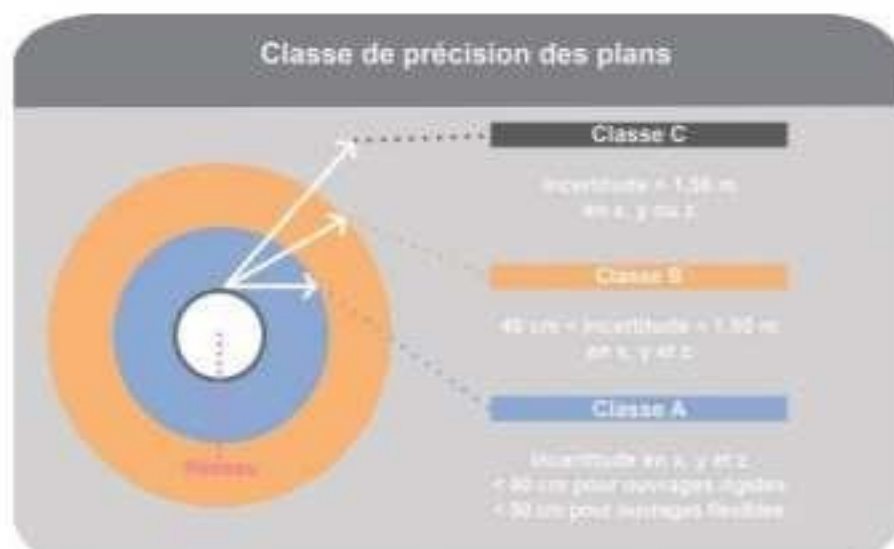
Nous fournissons aux clients quatre types de livrables qui expliquent la nécessité des points 3D:

- un plan topographique de l'égout et des arrivées
- un profil en long sur tout le linéaire de l'égout
- un aplat de l'ovoïde avec toutes les arrivées et leurs diamètres
- plusieurs coupes transversales placées à différents niveau de l'ovoïde.

TYPES DE PRÉCISION

En ce qui concerne les classes de précisions, nous sommes concernés par celles liées aux réseaux, celle liées à la lasergrammétrie, et celle liées aux plans topographiques;

Classes de précisions liées au réseaux :



Nous respectons donc dans un premier temps une classe de précision de CLASSE A

Classes de précisions liées à la lasergrammétrie :

Aujourd'hui dans le recueil de prestations des géomètres il n'existe rien sur les précisions quand aux prestations de lasergrammétrie, nous appliquons donc les classes de précisions appliqués pour le géoréférencement, le levé, et l'implantation.

Nous aurons besoin de géoréférencer nos nuages de point par conséquent, une bonne précision aussi bien relative (précision interne du nuage) qu'absolue (précision liée au géoréférencement en coordonnées légales).

Classes de précisions liées aux plans topographiques :

On sélectionnera un échantillon de points contrôlé à partir d'un mode opératoire adéquat mise en place suivant le mode opératoire que nécessitera l'acquisition des scanners.

Nous serons rattachés au système général;

Planimétrie : RGF 93, Conique Conforme zone 8 => CC49

Altimétrie : Système Normal, IGN 69

Nous préconisons donc une précision de;

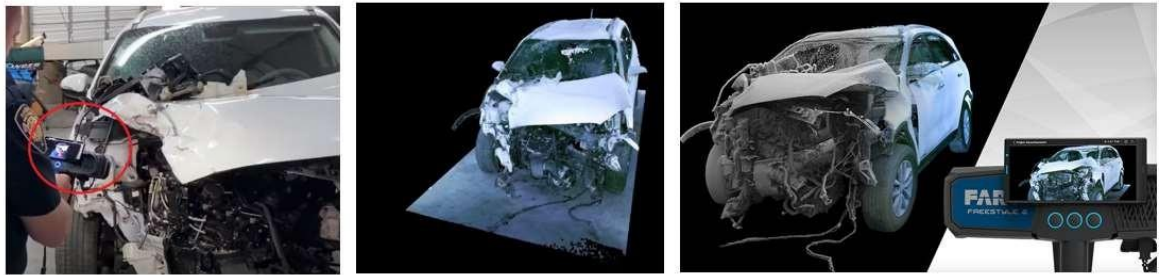
Planimétrie : 5 cm

Altimétrie : 1cm

Annexe 38 : Tableau présentant les différentes solutions

Tableaux comparatifs des solutions d'acquisitions mobiles				
	Scanner Faro Freestyle 3D	Heron Lite color	Zeb Revo RT	BLK2go
Type de capteur lidar	Non (Grille Laser)	Velodyne	Hokuyo	NC
Type de technologie	SLAM	SLAM	SLAM	SLAM/ Photogrammétrie
Poids/Maniabilité	1.4 kg	1.4 kg	2.7 kg	– 1 kg
Étanchéité	IP52	IP65	NC	IP54
Éclairage	Fonctionne dans l'obscurité	Fonctionne avec tous types d'éclairage	Fonctionne avec tous types d'éclairage	Nécessite de l'éclairage
Caméra	Oui	Oui	Non	Oui
Types d'opérations	Intérieur/Petit espace intérieur	Intérieur/ Extérieur	Intérieur	Intérieur/Extérieur
Cheminement par boucle	Pas de cheminement	Pas obligatoire	Obligatoire	Pas obligatoire
Interprétation dénivelée	Non	Non connus	Oui	Oui
Format d'export de données	.rcp/.e57/.las/ .wrl/.dxf/.pod	.e57/.las/.ply	.e57/.las/.ply	.e57/.rtc
Logiciel d'exploitation	Scene	Recap/Cloud Compare/Point Cab	Recap/Cloud Compare/Point Cab	Cyclone Register 360
Temps d'initialisation	10 secondes	Non requis	10 secondes	10 secondes
Portée	0.4 à 10 m (max)	0 à 100 m (max)	0 à 30 m (max)	0.5 à 25 m (max)
N points/seconde	220 000 pts/s	300 000 pts/s	43 200 pts/s	420 000 pts/s
Bruit de nuage (épaisseur de traits)	3 mm à 0.4 m 3 cm à 5 m 10 cm à 10 m	~ 3 cm	~ 2 cm	~ 1 cm
Précision relative	0.5 à 1,5 cm	3 cm	1 à 3 cm	0.6 à 1,5 cm
Précision absolue	Pas de précision absolue	5 cm avec fermeture boucle	2 cm avec fermeture boucle	2 cm pour de l'intérieur

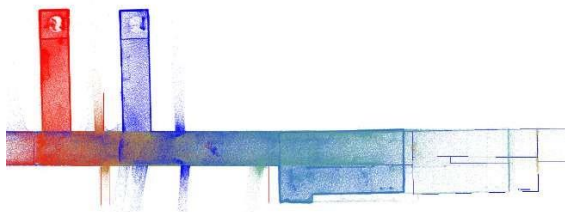
Annexe 39 : Photos du scanner Faro freestyle 3D



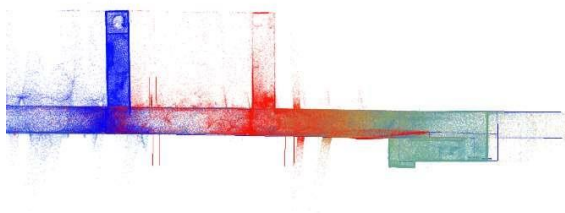
Annexe 40 : Photos du Heron lite color



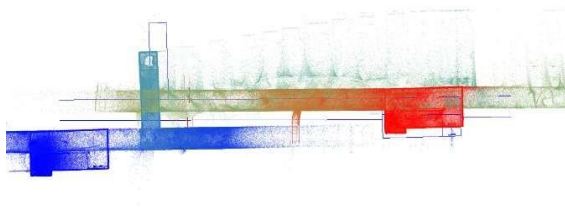
Annexe 41 : Les différents types de dérives des différents points de départ



→ Dérive de l'acquisition 1

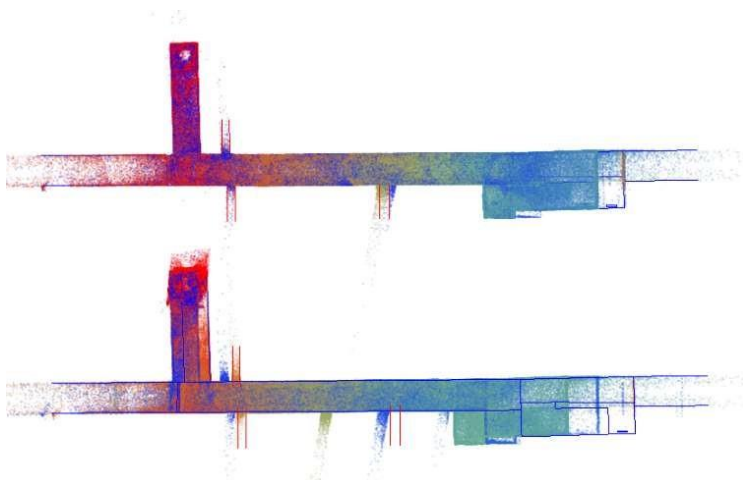


→ Dérive de l'acquisition 2



→ Dérive de l'acquisition 3

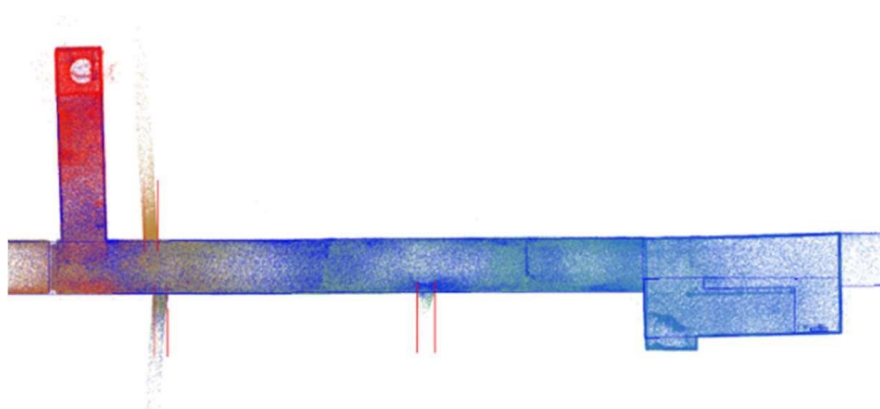
Annexe 42 : Analyse de répétitions des dérives



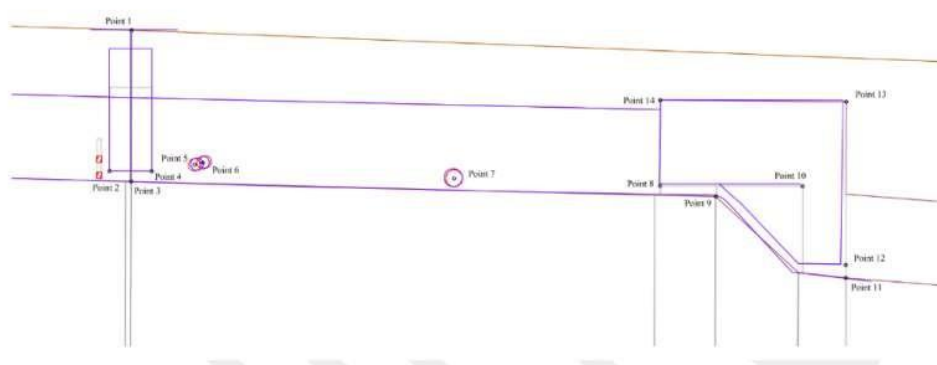
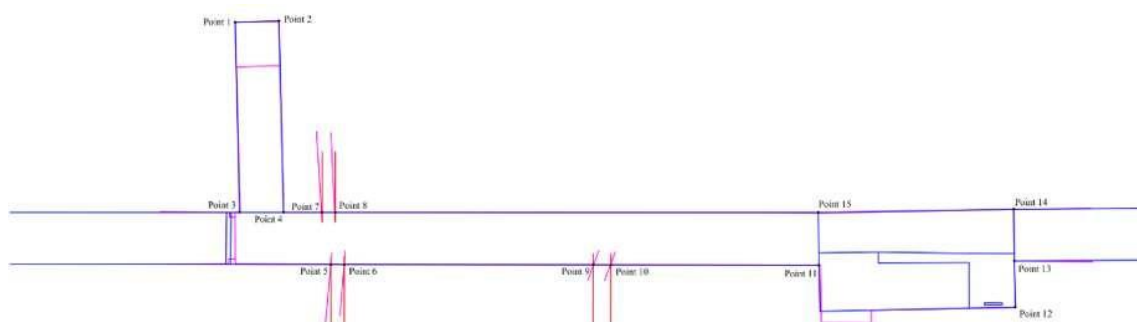
Annexe 43 : Photos des obstacles dans l'ovoïde



Annexe 44 : Superposition du nuage de points et du plan topographique sommaire



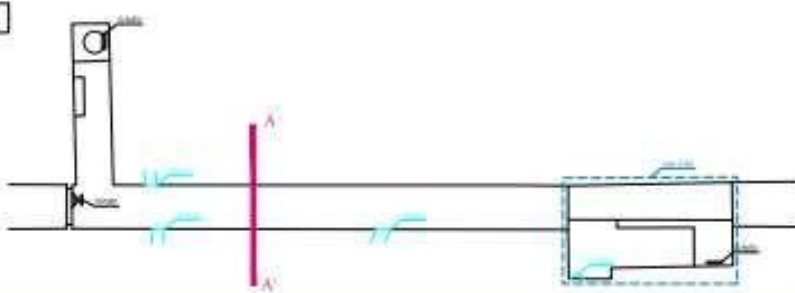
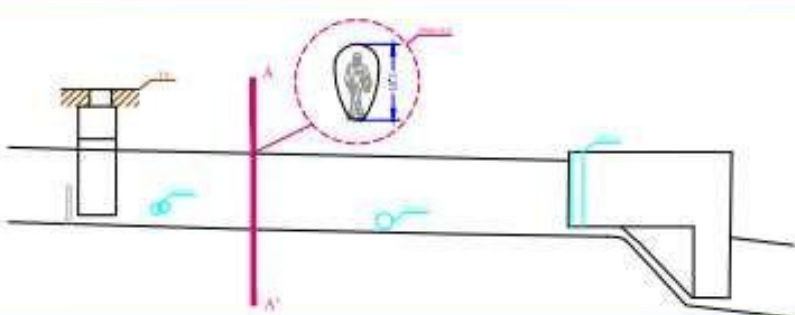
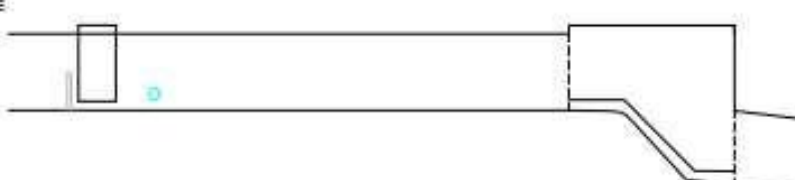
Annexe 45 : Constat des écarts avec des points significatifs



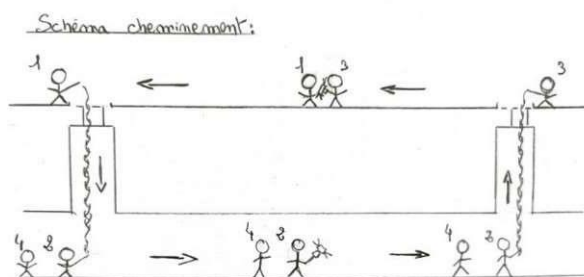
Annexe 46 : Tableau des écarts du premier test avec le Zeb Revo RT

Tableau d'analyse des écarts											
Comparaison du plan topographique						Comparaison du profil en long					
	Δx	Δy	$\Delta x - Em$	$\Delta y - Em$	$\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$		Δx	Δy	$\Delta x - Em$	$\Delta y - Em$	$\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$
1	0,004	-0,003	0,001	-0,003	-0,002	1	-0,022	0,001 2	-0,023	- 0,005 8	0,023
2	-0,009	-0,016	-0,012	-0,016	0,012	2	-0,009	0,01	-0,01	0,003	0,01
3	0,014	0,000 3	0,011	0,000 3	0,011	3	-0,016	- 0,004 2	-0,017	-0,011	0,017
4	0	0	-0,003	0	0,003	4	0,004	0,012	0,003	0,005	0,003
5	-0,007	0,014	-0,01	0,014	0,01	5	0,056	0,016	0,055	0,009	0,055
6	-0,002	0,013	-0,005	0,013	0,005	6	0,056	0,016	0,055	0,009	0,055
7	-0,018	-0,001	-0,021	-0,001	0,021	7	-0,027	0,017	-0,028	0,01	0,028
8	-0,017	-0,001	-0,02	-0,001	0,02	8	-0,021	0,05	-0,022	0,043	0,024
9	0,01	0,009	0,007	0,009	0,008	9	0,002 5	0,015	0,001 5	0,008	0,002
10	-0,008	0,009	-0,011	0,009	0,011	10	0,056	-0,055	0,055	-0,062	0,056
11	0,038	0,005	0,035	0,005	0,035	11	0,01	-0,015	0,009	-0,022	0,009
12	-0,008	-0,011	-0,011	-0,011	0,011	12	0	0	-0,001	-0,007	0,001
13	0,034	-0,002	0,031	-0,002	0,031	13	-0,07	0,04	-0,071	-0,078	0,077
14	0,01	0,000 1	0,007	0,000 1	0,007	14	-0,002	0,005 2	-0,003	-0,01	0,003
15	0,002	-0,017	-0,001	-0,017	0,01	X	X	X	X	X	X
Écart moyen	0,003	$4,2 \cdot 10^{-5}$	X	X	0.013	Écart moyen	0,001	0,007	X	X	0.026

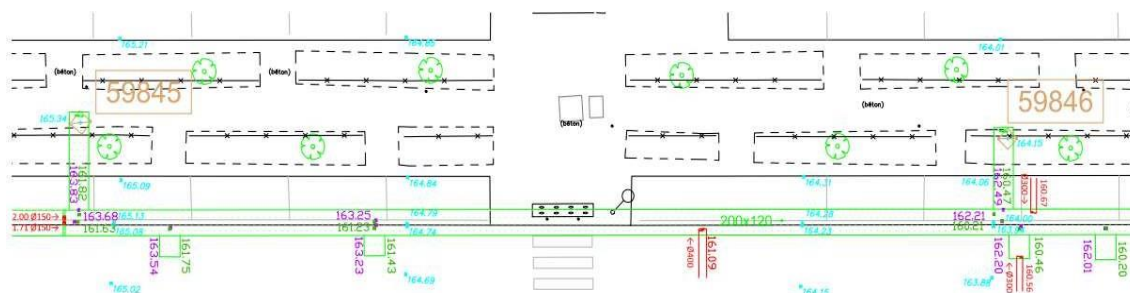
Annexe 47 : Plan sommaire des livrables attendus

HAUTS-DE-SEINE LE_PLESSIS_ROBINSON AVENUE_CHARLES_DE_GAULLE	RELEVÉ_D'EGOUT TEST																
PLAN TOPOGRAPHIQUE 																	
PROFIL EN LONG 																	
APLAT COTE GAUCHE 																	
APLAT COTE DROIT 																	
 Géomètre-Expert Agence de Clamart 32 Avenue Jean Jaurès 92140 CLAMART EDITEUR: Léo GUERRIER <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 25%;">DATE</td> <td style="width: 25%;">ÉCHELLE</td> <td colspan="2" style="width: 50%;">DOSSIER</td> </tr> <tr> <td>15/05/2021</td> <td>1/100</td> <td colspan="2">EGOUT</td> </tr> <tr> <td>COORDONNÉES</td> <td>LOCALE</td> <td>PLAN</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>NIVELLEMENT</td> <td>SANS</td> <td>INDICE</td> <td>1</td> </tr> </table>		DATE	ÉCHELLE	DOSSIER		15/05/2021	1/100	EGOUT		COORDONNÉES	LOCALE	PLAN	1	NIVELLEMENT	SANS	INDICE	1
DATE	ÉCHELLE	DOSSIER															
15/05/2021	1/100	EGOUT															
COORDONNÉES	LOCALE	PLAN	1														
NIVELLEMENT	SANS	INDICE	1														

Annexe 48 : Croquis du processus d'acquisition mis en place



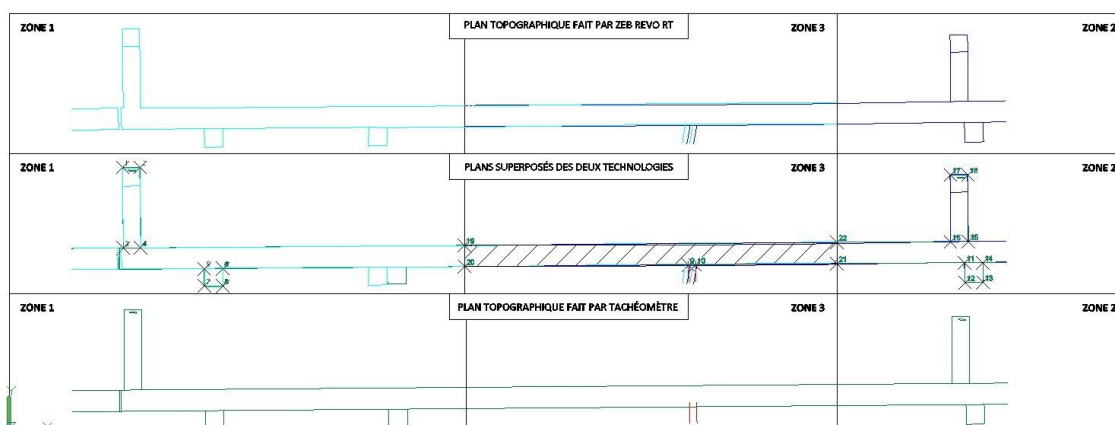
Annexe 49 : Plan topographique des tests supplémentaires faits par tachéomètre



Annexe 50 : Assemblage des deux nuages de points



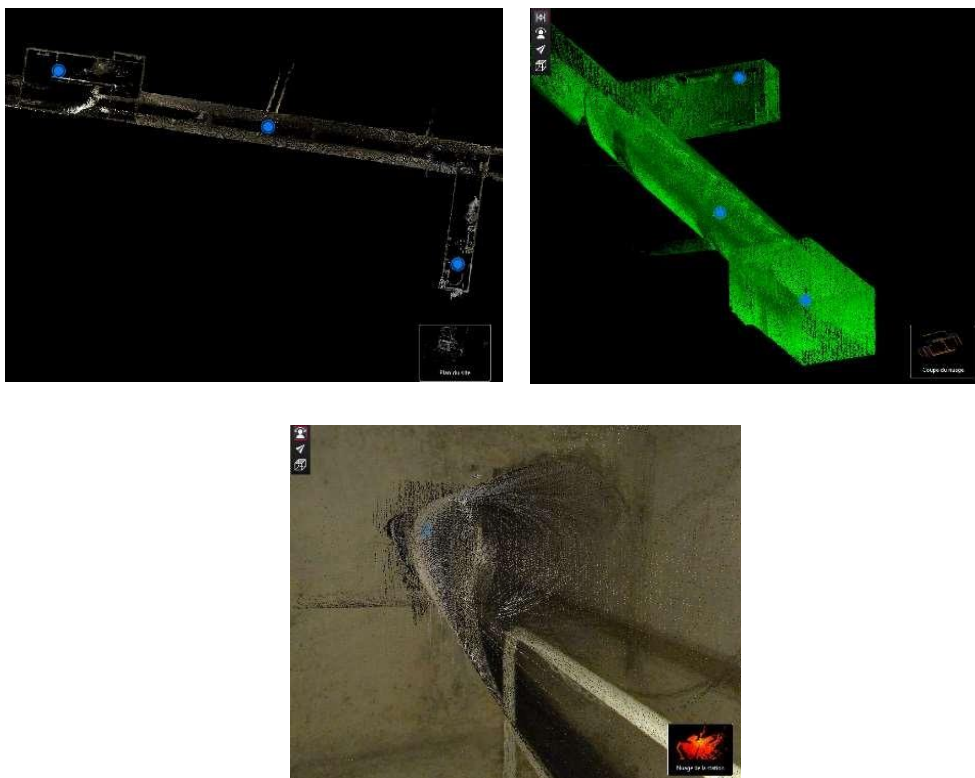
Annexe 51 : Plan topographique des différentes zones



Annexe 52 : Photo éclairage spéléologique



Annexe 53 : Différents modes de visualisations des nuages et des données sur Register 360



Annexe 54 : Exemple de rapport d'assemblage sur Cyclone Register 360

Cyclone REGISTER 360

Rapport d'assemblage



mai 25, 2021

Certifié par :



Plan du site 1

Qualité globale

Résultats d'erreur pour
BLK2GO-3630559-341

Nombre de stations : 1
Nombre de liens : 0
Force : 0 %
Recouvrement : 0 %

Erreur du groupe 0.000 m X			
Recouvrement 0 % X		Force 0 % X	
Nuage à nuage		Erreur cible	



Erreur max de 0.015 m.

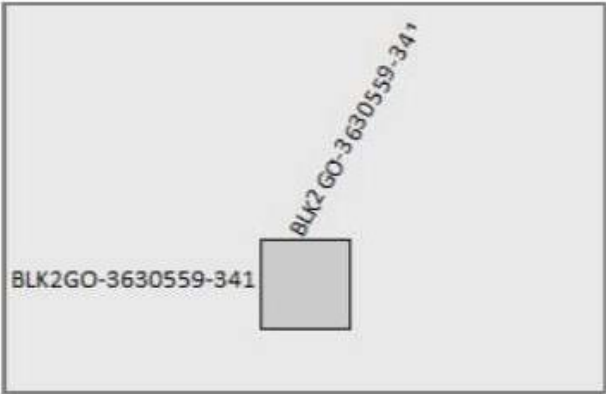


Erreur max de 0.020 m.



Erreur supérieure à 0.020 m.

Matrice Lien-Qualité (1 sur 1) -

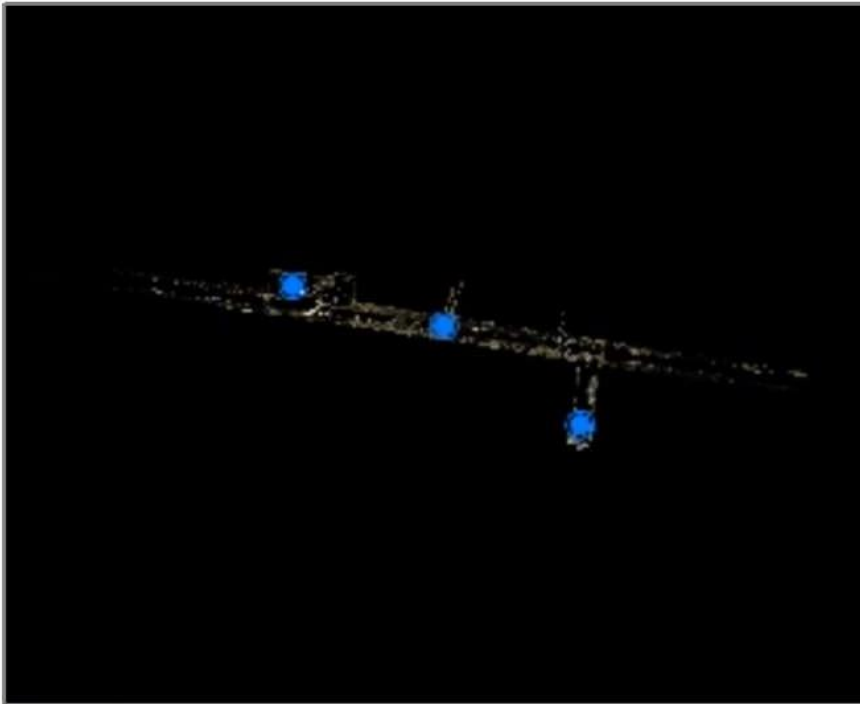


Résultats d'erreur lien

1 Aperçu

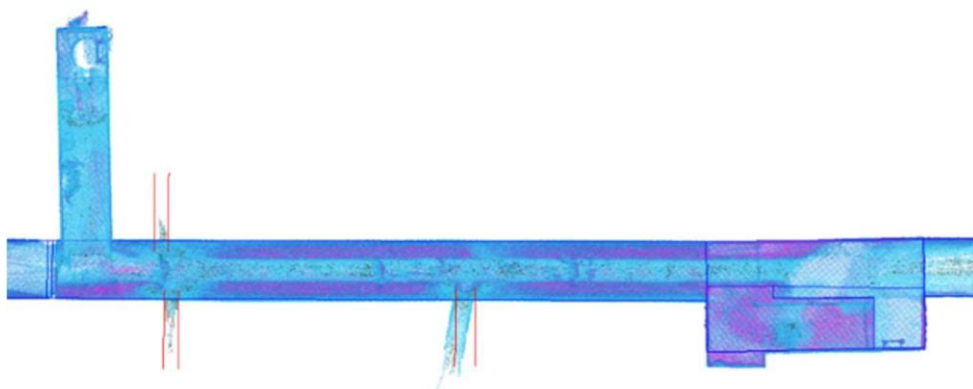
Nom du lien	Station 1	Station 2	Recouvrement	Erreur moyenne absolue
-------------	-----------	-----------	--------------	------------------------

2 Détails

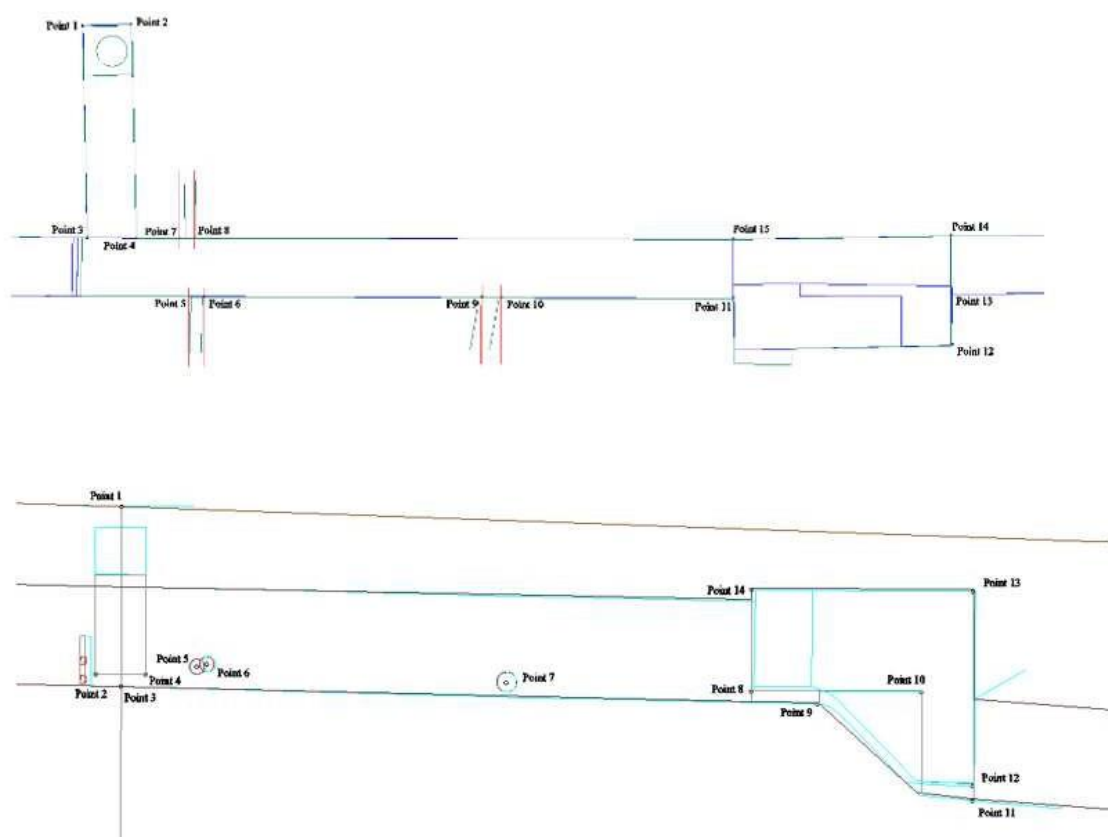


ProjectIcon

Annexe 55 : Superposition du nuage de points avec le plan topographique sommaire



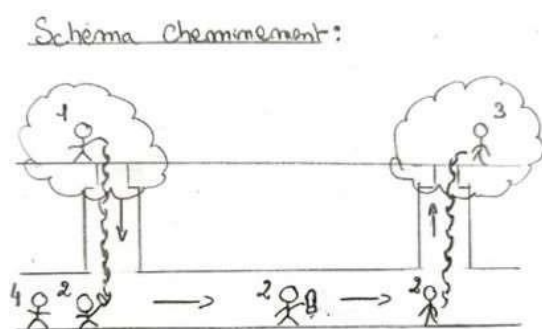
Annexe 56 : Constat des écarts des points significatifs



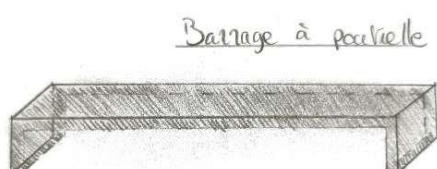
Annexe 57 : Tableau d'écarts du premier test avec le BLK 2go

Tableau d'analyse des écarts											
Comparaison du plan topographique						Comparaison du profil en long					
	Δx	Δy	$\Delta x - Em$	$\Delta y - Em$	$\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$		Δx	Δy	$\Delta x - Em$	$\Delta y - Em$	$\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$
1	-0,007	-0,032	-0,009	-0,039	0,011	1	0	0	-0,011	-0,006	0,011
2	0,002	-0,029	0	-0,036	0,001	2	0,002	0,005	-0,009	0,011	0,009
3	0,006	-0,002	0,004	-0,009	0,004	3	0	0	-0,011	-0,006	0,011
4	0	0	-0,002	-0,007	0,002	4	0	0,005	-0,011	-0,011	0,011
5	0,044	0,004	0,004	-0,003	0,004	5	0,020	0,003	0,009	-0,009	0,009
6	-0,023	-0,004	-0,025	-0,011	0,025	6	0,016	0	0,005	-0,006	0,005
7	0,120	0,003	0,118	-0,004	0,118	7	0,007	-0,004	-0,003	0,002	0,003
8	0,052	0,001	0,050	-0,006	0,050	8	0,020	0	0,009	-0,006	0,009
9	-0,048	-0,008	-0,050	-0,150	0,073	9	-0,001	-0,001	-0,012	0,005	0,012
10	-0,049	-0,008	-0,051	-0,150	0,074	10	0,02	-0,02	0,009	-0,014	0,009
11	0,020	-0,005	0,018	-0,012	0,018	11	-0,002	-0,017	-0,013	-0,011	0,013
12	-0,050	-0,009	-0,052	-0,016	0,052	12	0,005	-0,016	-0,016	-0,010	0,016
13	-0,027	-0,005	-0,029	-0,012	0,029	13	0,020	-0,020	0,009	-0,014	0,009
14	-0,008	0	-0,010	-0,007	0,010	14	0,040	-0,019	-0,015	-0,013	0,015
15	0	-0,009	-0,002	-0,016	0,002	X	X	X	X	X	
Écart moyen	0,002	-0,007	X	X	0.030	Écart moyen	0,011	-0,006	X	X	0.011

Annexe 58 : Croquis du processus d'acquisition



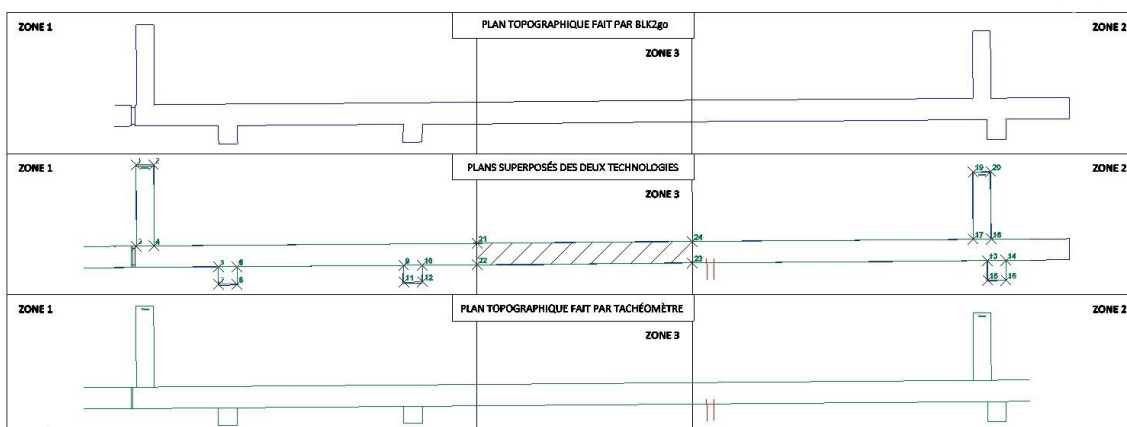
Annexe 59 : Croquis d'un barrage à poutrelle



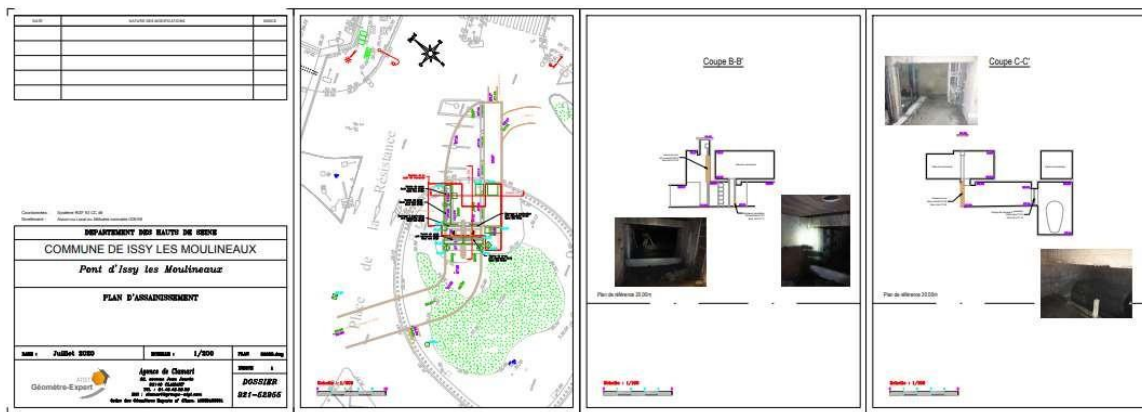
Annexe 60 : Assemblage des deux nuages de points



Annexe 61 : Plan topographique des différentes zones



[illegible]



Liste des figures

Figure 1 : Commanditaires des relevés d'assainissement	10
Figure 2 : Opérations topographiques du Groupe ATGT.....	11
Figures 3, 4 : Mise en station de l'appareil et du réflecteur	16
Figure 5 : Croquis d'une vue en coupe d'une descente de station.....	17
Figure 6 : Croquis d'une vue en plan d'une descente de station	17
Figure 7 : Photo d'une descente de station.....	17
Figure 8 : Exemple d'un aplat.....	18
Figure 9 : Exemple d'une coupe en ovoïde.....	18
Figure 10 : Schéma de la technologie temps de vol	20
Figure 11 : Schéma de la technologie SLAM	20
Figures 12, 13 : Périmètre de la zone à lever	25
Figures 14, 15 : Croquis des positions du scanner	26
Figure 16 : Les différentes vues du nuage dans Point Cab.....	29
Figure 17 : Orthophoto de la façade à dessiner	30
Figure 18 : Orthophoto du plan topographique à dessiner	30
Figure 19 : Plan du tronçon choisi pour les tests.....	32
Figure 20 : Zones significatives et les cheminements à réaliser.....	32
Figures 21, 22, 23, 24 : Scanner mobile.....	37
Figure 25 : Croquis des boucles et des différents points de départ	40
Figure 26 : Croquis du placement des obstacles	41
Figure 27 : Dessin du plan topographique sur le nuage	42
Figure 28 : Dessin du profil en long sur le nuage.....	42
Figure 29 : Nouveau placement des obstacles.....	44
Figure 30 : Assemblage des deux nuages de points	44
Figure 31 : Comparaison des dessins du nuage et dessins du tachéomètre	44
Figure 32 : Boucles et différents points de départ.....	48
Figures 33, 34 : Dessin des plans sur les nuages de points	49
Figure 35 : Croquis du placement des obstacles	51
Figure 36 : Assemblage des deux nuages de points	51
Figure 37 : Comparaison des dessins du nuage de points et dessins du tachéomètre.....	51

Liste des tableaux

Tableau 1 Comparaison des écarts entre le plan de référence et le plan fait par Zeb Revo RT	45
Tableau 2 Comparaison des écarts entre le plan de référence et le plan fait par BLK 2go	52
Tableau 3 Comparaison des trois solutions testées	54

RÉSUMÉ

Les différents tests réalisés au travers de plusieurs types de solutions d'acquisition 3D me permettent aujourd'hui d'affirmer que les scanners mobiles à mains sont les outils qui seraient le plus compatibles avec les relevés en espaces confinés.

Les démonstrations ont prouvé que dans certaines structures, des nuages de points pertinents tandis que pour d'autres, le levé conserve une zone de perte de signal et d'incertitudes sont possibles.

Mes collègues étant les acteurs principaux lors de relever d'égouts et les égouts étant un domaine très spécifique dans la famille des espaces confinés, j'ai mis en œuvre plusieurs schémas d'acquisition pour leur apporter une aide.

Les déductions de ces recherches me permettent de dire qu'une amélioration d'acquisition grâce à une technique 3D peut être apportée lorsque la structure à lever n'est pas un long linéaire de types ovoïdaire, mais un ouvrage souterrain spécifique.

Mots clés : solutions acquisition, scanners mobiles, espaces confinés, nuage de points, perte de signal, zone d'incertitude, technique 3D.

SUMMARY

The various tests carried out through several types of 3D acquisition solutions allow me today to affirm that mobile hand scanners are the tools that should be more compatible with surveys in confined spaces.

The demonstrations have shown that in some structures relevant point clouds while in others the survey retains an area of signal loss and uncertainties are possible.

My colleagues being the main players in sewerage and sewerage being a very specific area in the confined space family, I have implemented several acquisition schemes to provide them with help.

The deductions from this research allow me to say that an acquisition improvement thanks to a 3D technique can be welcomed when the lever structure is not a long linear type of ovoid, but a specific underground structure.

Key words: acquisition solutions, mobile scanners, confined spaces, point cloud, signal loss, zone of uncertainty, 3D technique.