



HAUTE ÉCOLE
D'INGÉNIERIE ET DE GESTION
DU CANTON DE VAUD
www.heig-vd.ch

Hes-SO
Haute Ecole Spécialisée
de Suisse occidentale

Que peut faire le Heron ?

Bachelor of Science HES-SO en Géomatique

Travail de Bachelor réalisé par	M. Jérémias Glauser
Professeur responsable	M. Vincent Barras
Expert	M. Julien Brahier
Mandant	Mme Giorgia Rossi
Sujet proposé par	L'entreprise Gexcel Sàrl c/o CSMT
Date	28 juillet 2017

Avant-propos

Dans le cadre du sixième semestre de la filière « géomatique et gestion du territoire » à la Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du canton de Vaud (HEIG-VD), chaque étudiant traite un projet qui permet l'obtention d'un « Bachelor of Science ».

Ce document est le résultat de l'expérimentation d'un système scanner mobile 3D lié à des problématiques d'ingénieur. Il s'est déroulé du 22 mai au 28 juillet 2017, soit une période de dix semaines. Ce rapport s'adresse premièrement à des ingénieurs et à des spécialistes de la géomatique.

Ce travail est constitué :

- D'un rapport technique (le présent document)
- D'un dossier d'annexe
- D'un CD/DVD

Je tiens particulièrement à remercier les personnes suivantes :

- Monsieur Vincent Barras, professeur à la HEIG, pour le sujet proposé et le cahier des charges établit, pour le suivi tout au long du projet ainsi que l'organisation des différentes séances
- Madame Giorgia Rossi, employée dans la firme Gexcel, pour la mise à disposition de l'instrument Heron AC-1, ainsi que la proposition du sujet
- Monsieur Julien Brahier, ingénieur géomètre breveté, pour les remarques et conseils lors du rendu intermédiaire
- Monsieur Arthur Mancini, assistant à la HEIG, pour toutes les explications des spécificités liées aux instruments et aux logiciels de traitements des données
- Monsieur Benjamin Wolf, employé à la HEIG, pour l'installation d'un disque dur externe et d'une carte graphique plus performants
- Ma famille et mon entourage pour la relecture de ce document et les divers encouragements ainsi que les nombreux conseils

Yverdon-les-Bains, le 28 juillet 2017

Jérémias Glauser

Résumé

Les relevés 3D sont de plus en plus fréquents dans le monde la géomatique. Il y a encore peu de temps, les techniques, la technologie et les connaissances étaient limitées dans le domaine. De plus, le matériel était onéreux et lourd. Les avancées dans le domaine du calcul de nuage-nuages qui comporte un algorithme de calculs complexe, permet depuis peu de temps des acquisitions et des visualisations 3D en temps réel. Dès lors, les constructeurs de système de laser scanner développent de plus en plus des instruments d'acquisition de ce type.

Dans le cadre de ce travail, l'entreprise italienne Gexcel met à disposition son système scanner laser mobile du modèle suivant : Heron AC-1.

L'objectif premier de ce travail est d'identifier les différents systèmes mobiles existants sur le marché, ainsi que de les mettre en relation avec les résultats obtenus avec le Heron AC-1. Dans un deuxième temps, l'identification de bancs de tests permettra de définir la précision et les limites d'utilisation de ce matériel en tenant compte des situations suivantes :

- Système à l'intérieur d'un bâtiment
- Système à l'extérieur (place, forêt, champ)
- Système monté sur un véhicule pour un relevé de corps de rue

De manière générale, et en rapport avec la concurrence, le Heron AC-1 est un système performant car son utilisation et sa prise en main sont très simples. De plus, la visualisation de l'acquisition en temps réel permet un rapide aperçu et contrôle. D'autre part, peu importe le volume de données à scanner, la durée de l'acquisition est très courte. Un inconvénient majeur du système est qu'il ne fonctionne actuellement qu'en relatif (mesures non-géoréférencées).

En ce qui concerne la précision relative du système, la détection de sphères et de cylindres a été effectuée et donne un résultat d'une précision de 5cm. La modélisation d'objet issu du nuage de point du Heron AC-1 est d'environ 2cm pour la précision locale (Local Maps) et d'environ 5cm pour la précision globale finale en intérieur. Une dérive planimétrique et altimétrique non-linaire de l'ordre du demi-décimètre à environ 80m a été mise en évidence dans un couloir rectiligne. La précision absolue, dans un bâtiment de sept étages, est de l'ordre du décimètre.

Pour les tests extérieurs, le système a besoin d'éléments structurants (plans, angles) pour son positionnement relatif. Dans les champs, il ne fonctionne pas, tandis que sur les places et dans la forêt, l'acquisition est possible. Le parcours optimal pour le relevé d'un espace qui comprend des éléments structurants est un « aller » simple en extérieur.

Une dérive a également été constatée sur un banc de test en forêt avec un chemin goudronné, elle est de l'ordre de 40cm en planimétrie et de 70cm en altimétrie à 200m.

Plusieurs acquisitions avec le Heron AC-1 ont été effectuées à Yverdon-les-Bains, plus précisément dans une rue étroite, dans une allée dense, autour d'un rond-point et sur une route principale. Une approche objective des limites du système a été effectuée pour avoir un premier résultat de cette méthode. Dans l'ensemble cette démarche fonctionne, par contre le mode « Walking », autrement dit « en marchant », présente de meilleurs résultats. De plus, beaucoup d'éléments, tels que des panneaux, des bancs ou des trottoirs sont visibles avec une vitesse d'acquisition de 30km/h, mais la modélisation de ceux-ci est compliquée.

Au final, une réflexion sur les perspectives du système sera abordée pour améliorer ce domaine d'acquisition actuellement en plein essor.

I. TABLE DES MATIÈRES

1	Introduction.....	- 1 -
1.1	Objectifs et buts	- 1 -
1.2	Cahier des charges.....	- 2 -
1.3	Situation de départ.....	- 2 -
2	Rappel théorique.....	- 2 -
2.1	Mobile Mapping (Cartographie mobile).....	- 2 -
2.2	Calage nuage-nuages.....	- 2 -
2.3	Méthode « STOP AND SCAN ».....	- 3 -
3	Instrumentations.....	- 4 -
3.1	Heron AC-1	- 4 -
3.2	Autres lasers scanners mobiles	- 10 -
3.3	Autres Instrumentations utilisées	- 14 -
3.4	Accessoires	- 14 -
4	Logiciels	- 15 -
5	Jeux de mesures	- 16 -
5.1	Trajets intérieurs	- 16 -
5.2	Trajet extérieurs (cf. Chapitre 7 → <i>Page 36</i>)	- 17 -
5.3	Trajet en scooter	- 18 -
6	Tests intérieurs.....	- 19 -
6.1	Précision relative	- 19 -
6.2	Dérive du système	- 26 -
6.3	Modélisation d'objet	- 31 -
6.4	Précision absolue.....	- 33 -
7	Tests extérieurs	- 36 -
7.1	Fonctionnement extérieur « live »	- 36 -

7.2	Parcours optimal	- 36 -
7.3	Dérive du système : forêt	- 38 -
8	Relevés de corps de rue	- 41 -
8.1	Corps de rue étroit	- 42 -
8.2	Corps de rue dense.....	- 43 -
8.3	Route principale	- 43 -
8.4	Rond-point.....	- 44 -
8.5	Analyse de la Vitesse	- 44 -
9	Difficultés et problématiques.....	- 45 -
9.1	Difficultés.....	- 45 -
9.2	problématiques	- 45 -
10	Perspectives.....	- 46 -
10.1	Expérimentations	- 46 -
10.2	Développements	- 47 -
11	Conclusion	- 49 -
12	Bibliographie.....	- 50 -

II. Liste des abréviations

HEIG-VD	Haute Ecole d'Ingénierie et de gestion du canton de Vaud
ICP*	<i>Iterative Closest Point</i> (Points itératifs les plus proches)
SLAM*	<i>Simultaneous Localization And Mapping</i> (Cartographies et localisation simultanées)
LIDAR*	<i>Light Detection And Ranging</i> (Télédétection par laser)
IMU*	<i>Inertial Measurement Unit</i> (Centrale inertielle)
UAV*	Unmanned Aerial Vehicle (Véhicule aérien sans humain à bord ou drone)
RTK*	<i>Real Time Kinematic</i> (Cinématique temps réel)
GPS*	<i>Global Positioning System</i> (Système de positionnement global)
BIM*	<i>Building Information Modeling</i> (MIB : Modèle intelligent du bâtiment)

* Acronyme des expressions en anglais

III. Table des illustrations

FIGURE 1 : EXEMPLE DE CALAGE ENTRE DEUX NUAGES DE POINTS REUSSI PAR LA METHODE NUAGE-NUAGES	- 3 -
FIGURE 2 : DESCRIPTION DES ÉLÉMENTS COMPOSANT LE HERON AC-1	- 4 -
FIGURE 3 : CRÉATION DES LOCAL MAPS (CARTE LOCALE) PAR LE LOGICIEL HERON DESKTOP LORS DU TRAITEMENT	- 6 -
FIGURE 4 : SCHÉMA DE L'OPTIMISATION DES LOCAL MAPS (CARTE LOCALE) PAR LE LOGICIEL HERON DESKTOP	- 6 -
FIGURE 5 : EXEMPLE D'UN NUAGE DE POINTS ACQUIS AVEC LE HERON AC-1	- 6 -
FIGURE 6 : SCANNER ROTATIF VELODYNE HDL -32E	- 7 -
FIGURE 7 : SCHÉMA D'UNE STATION INERTIELLE (IMU) AVEC LES ACCÉLÉROMÈTRES ET LES GYROSCOPES	- 8 -
FIGURE 8 : LEICA PEGASUS BACKPACK	- 10 -
FIGURE 9 : LEICA NOVA MS60	- 14 -
FIGURE 10 : ENSEMBLE DES TRAJETS EFFECTUÉS AVEC LE HERON AC-1 EN EXTÉRIEUR AUTOUR DE DU SITE DE LA HEIG-VD	- 17 -
FIGURE 11 : PLAN DES TRAJETS EFFECTUÉS EN SCOOTER EN VILLE D'YVERDON-LES-BAINS	- 18 -
FIGURE 12 : BANC DE TEST INTÉRIEUR SUR LES ESCALIERS DU HALL DE LA HEIG-VD	- 19 -
FIGURE 13 : SCHÉMA EN COUPE DU RECALAGE DES NUAGES DE POINTS LORS D'UN PASSAGE « ALLER » (À GAUCHE) ET « ALLER-RETOUR » (À DROITE) SUR UN CYLINDRE	- 20 -
FIGURE 14 : EXEMPLE DU BRUIT DE MESURES LORS D'UN PASSAGE ALLER-RETOUR SUR LE CYLINDRE 8	- 20 -
FIGURE 15 : EXEMPLE DE MODÉLISATION D'UNE BARRIÈRE D'UN ESCALIER AVEC UN DIAMÈTRE DE 8CM	- 20 -
FIGURE 16 : EXEMPLE DE LA DÉTECTION D'UNE SPHÈRE DANS UN NUAGE DE POINT DU HERON AC-1	- 21 -
FIGURE 17 : CROQUIS DES SPHÈRES FIXÉS LORS DU GÉORÉFÉRENCEMENT POUR LA DÉRIVE SELON LE TRAJET	- 27 -
FIGURE 18 : CROQUIS DE LA DÉRIVE PLANIMÉTRIQUE DU COULOIR EN FONCTION DES RÉSULTATS	- 29 -
FIGURE 19 : CROQUIS DE LA DÉRIVE ALTIMÉTRIQUE DU COULOIR EN FONCTION DES RÉSULTATS	- 30 -
FIGURE 20 : ILLUSTRATION DES HAUTEURS SUR UN NUAGE DE POINTS DU HERON AC-1	- 31 -
FIGURE 21 : COUPE D'UN ESCALIER DANS UN NUAGE DU HERON AC-1	- 32 -
FIGURE 22 : MODÉLISATION DANS LE LOGICIEL 3DR	- 32 -
FIGURE 23 : ROTATION DU SOL DE L'ÉTAGE E DU NUAGE ACQUIS AVEC LE HERON PAR RAPPORT À CELUI DU FARO	- 34 -
FIGURE 24 : DÉCALAGE PLANIMÉTRIQUE SUR UN PILIER DE L'ÉTAGE E DU NUAGE ACQUIS AVEC LE HERON PAR RAPPORT À CELUI DU FARO	- 35 -
FIGURE 25 : DÉCALAGE ALTIMÉTRIQUE SUR L'ESCALIER DE L'ÉTAGE F DU NUAGE ACQUIS AVEC LE HERON PAR RAPPORT À CELUI DU FARO	- 35 -
FIGURE 26 : PARCOURS EFFECTUÉS AVEC LE HERON AC-1 DANS LA COUR EXTÉRIEURE DE LA HEIG-VD	- 36 -
FIGURE 27 : CROQUIS DES POINTS UTILISÉS POUR LA COMPARAISON DES DISTANCES RELATIVES DES TRAJETS AU HERON DANS LA COUR DE LA HEIG-VD	- 37 -
FIGURE 28 : CROQUIS DES SPHÈRES FIXÉS LORS DU GÉORÉFÉRENCEMENT POUR L'ANALYSE DES ÉCARTS DE LA DÉRIVE EN FORÊT	- 38 -
FIGURE 29 : SYSTÈME DU HERON AC-1 MONTÉ EN MODE SAC À DOS SUR UN SCOOTER	- 41 -
FIGURE 30 : EXEMPLE DU MARQUAGE D'UN CÉDEZ LE PASSAGE DANS LE NUAGE DE POINTS DU HERON AC-1 ACQUIS À UNE VITESSE DE 30 KM/H	- 42 -
FIGURE 31 : EXEMPLE D'UN PANNEAU DE SIGNALISATION DANS LE NUAGE DE POINTS DU HERON AC-1 ACQUIS À UNE VITESSE DE 30 KM/H	- 42 -
FIGURE 32 : PILIER D'ÉVITEMENT POUR RALENTIR LE TRAFIC LE LONG DE LA RUE	- 43 -
FIGURE 33 : NUAGE DE POINTS ISSU DU LOGICIEL 3DR DU ROND-POINT DE LA RUE DU BURRON AVEC CONTRÔLES GÉOMÉTRIQUES	- 44 -
FIGURE 34 : ORTHOPHOTO DU ROND-POINT DE LA RUE DU BURRON	- 44 -
FIGURE 35 : MOUVEMENT RELATIF POUR LA MESURES D'UN POINT AVEC LE HERON AC-1 ET L'OUTIL « POINT PICKER » ¹⁵	- 46 -
FIGURE 36 : PIÈCE NOMMÉE MONOPOD, POUR L'UTILISATION DE L'OUTIL « POINT PICKER » DU HERON AC-1. IL EST UTILE LORS DE LA MESURE D'UN POINT CONNU EN CORDONNÉES POUR LE GÉORÉFÉRENCEMENT DU SYSTÈME ¹⁵	- 46 -
FIGURE 37 : ESCALIER TYPE IDÉAL POUR TESTER LA DÉRIVE ET LA ROTATION DU SYSTÈME DU HERON EN ALTIMÉTRIE	- 46 -
FIGURE 39 : EXEMPLE D'UNE BOÎTE AVEC DES TROUS DE TAILLES ET DE FORMES DIFFÉRENTES POUR L'ANALYSE DU FAISCEAU DU VELODYNE HDL -32E	- 47 -
FIGURE 38 : IMAGE 3D GÉORÉFÉRENÇÉES AVEC UNE COLORATION DU PIXEL EN FONCTION DE LA DISTANCE	- 48 -

IV. Table des tableaux

TABLEAU 1 : CARACTÉRISTIQUES DU LASER DU SCANNER ROTATIF VELODYNE -32 ^E	- 7 -
TABLEAU 2 : CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DU HERON MS-1	- 9 -
TABLEAU 3 : SIMILARITÉS ET DIFFÉRENCES GÉNÉRALES ENTRE LE SYSTÈME SCANNER LASER 3D PEGASUS BACKPACK ET LE HERON AC-1	- 10 -
TABLEAU 4 : DIFFÉRENCES TECHNIQUES ENTRE LE PEGASUS BACKPACK ET LE HERON AC-1.....	- 11 -
TABLEAU 5 : TABLEAU COMPARATIF DU SYSTÈME DU HERON AC-1 AVEC LES SYSTÈMES SCANNERS MOBILES EXISTANTS ACTUELLEMENT SUR LE MARCHÉ .. -	
12 -	
TABLEAU 6 : MOYENNE GÉNÉRALE DES ÉCARTS DE LA DÉTECTION DES CYLINDRES DE DIAMÈTRES COMPRIS ENTRE 5 À 16CM	- 20 -
TABLEAU 7 : MOYENNE DES ÉCARTS DE LA DÉTECTION DE L'ENSEMBLE DES SPHÈRES DE DIAMÈTRE 152MM ET 200MM.....	- 21 -
TABLEAU 8 : MOYENNE GÉNÉRALE DES ÉCARTS DE LA DÉTECTION DE L'ENSEMBLE DES SPHÈRES UTILISÉES DANS LE TRAJET T1 ET T2.....	- 22 -
TABLEAU 9 : COMPARAISON DES DISTANCES 3D RELATIVES ENTRE LE CENTRE DES SPHÈRES SUR UN MÊME ÉTAGE À COURTE DISTANCE AVEC LA DÉTECTION DANS 3DR.....	- 22 -
TABLEAU 10 : COMPARAISON DES DISTANCES 3D RELATIVES ENTRE LE CENTRE DES SPHÈRES AU PLAT À ENVIRON 120M	- 23 -
TABLEAU 11 : COMPARAISON DES DISTANCES 3D RELATIVES ENTRE LE CENTRE DES SPHÈRES ENTRE PLUSIEURS ÉTAGES	- 23 -
TABLEAU 12 : SYNTHÈSE DES POURCENTAGES DE POINTS APPARTENANT AU PLAN VERTICAL EN FONCTION D'UNE PLAGE DE VALEUR (PRÉCISION)	- 24 -
TABLEAU 13 : SYNTHÈSE DES POURCENTAGES DE POINTS APPARTENANT AU PLAN HORIZONTAL EN FONCTION D'UNE PLAGE DE VALEUR (PRÉCISION) ..-	- 24 -
TABLEAU 14 : TAILLE DE L'IMPACT DU LASER DU VELODYNE -32 ^E SELON LA DIVERGENCE DU FAISCEAU ET CERTAINES DISTANCES.....	- 25 -
TABLEAU 15 : MOYENNE DES DÉTECTIONS DES CYLINDRES SELON LES DEUX PASSAGES EFFECTUÉS	- 26 -
TABLEAU 16 : ECART MOYEN (DANS LE SENS DU COULOIR D) SUITE AU GÉORÉFÉRENCEMENT DES 3 SPHÈRES DE DÉPART (1-2-3) SUR LES 3 SPHÈRES DE FIN (4-5-6)	- 27 -
TABLEAU 17 : ECARTS DES COORDONNÉES DU CENTRE DES SPHÈRES DOIT (LEVÉ GNSS) AVEC LE GÉORÉFÉRENCEMENT DU NUAGE DU COULOIR D ACQUIS AVEC LE HERON AC-1	- 27 -
TABLEAU 18 : COMPARAISON DE LA LARGEUR D'UNE PORTE ENTRE UNE MESURE AU DOUBLE-MÈTRE ET DES MESURES SUR LE NUAGE DE POINTS D'UNE « LOCAL MAPS ».....	- 31 -
TABLEAU 19 : COMPARAISON DE LARGEURS DES PORTES ENTRE DES MESURES AU DOUBLE-MÈTRE ET DES MESURES SUR LE NUAGE DE POINTS DE PLUSIEURS « LOCAL MAPS » DU HERON AC-1	- 32 -
TABLEAU 20 : ECART DU GÉORÉFÉRENCEMENT DES DONNÉES DU HERON AC-1 (À GAUCHE, TRAJET ALLER / À DROITE, TRAJET RETOUR).....	- 33 -
TABLEAU 21 : ECART DU CENTRE DES SPHÈRES DES DONNÉES DU HERON AC-1 (À GAUCHE, TRAJET ALLER / À DROITE, TRAJET RETOUR) DU TRAJET T1 AVEC CELLE DU FARO ET DU RÉSEAU DE L'ÉCOLE	- 34 -
TABLEAU 22 : SYNTHÈSE DES TRAJETS QUI FONCTIONNENT OU QUI NE FONCTIONNENT PAS À L'EXTÉRIEUR LORS DE L'ACQUISITION « LIVE »	- 36 -
TABLEAU 23 : MOYENNE, ÉCART-TYPE ET ÉCART MAXIMAL DES ÉCARTS ENTRE LES DISTANCE DOIT ET AVOIR SELON LES PARCOURS EFFECTUÉS	- 37 -
TABLEAU 24 : ECART DU GÉORÉFÉRENCEMENT SUR LES 6 SPHÈRES AUX EXTRÉMITÉS DU PARCOURS DU CHEMIN DE CHAMP-PITTET	- 38 -
TABLEAU 25 : CODE COULEUR POUR LA COMPRÉHENSION DES RÉSULTATS DU NUAGE DE POINTS DU HERON AC-1 ACQUIS AVEC UN SCOOTER SELON LES CRITÈRES D'IDENTIFICATION ET DE MODÉLISATION DES ÉLÉMENTS	- 41 -
TABLEAU 26 : ANALYSES DES ÉLÉMENTS D'UN CORPS DE RUE ÉTROIT SELON LEUR VISIBILITÉ ET LEURS CAPACITÉS À ÊTRE MODÉLISÉS.....	- 42 -
TABLEAU 27 : ANALYSES DES ÉLÉMENTS D'UN CORPS DE RUE DENSE SELON LEUR VISIBILITÉ ET LEURS CAPACITÉS À ÊTRE MODÉLISÉS	- 43 -

V. Table des graphiques

GRAPHIQUE 1 : ECARTS LONGITUDINAUX DU CENTRE DES POTEAUX DU COULOIR DE L'ÉTAGE D ENTRE LES MESURES DU FARO ET DU HERON	- 28 -
GRAPHIQUE 2 : ECARTS LATÉRAUX DU CENTRE DES POTEAUX DU COULOIR DE L'ÉTAGE D ENTRE LES MESURES DU FARO ET DU HERON . -	
29 -	
GRAPHIQUE 3 : ECARTS ALTIMÉTRIQUES D'UNE PORTION DES NUAGES DEVANT CHAQUE POTEAU DU COULOIR DE L'ÉTAGE D ENTRE DES MESURES AU FARO ET DU HERON	- 30 -
GRAPHIQUE 4 : ECARTS LONGITUDINAUX DU CENTRE DES SPHÈRES DU CHEMIN DE CHAMP-PITTET ENTRE LES MESURES DU MS60 ET DU HERON	- 39 -
GRAPHIQUE 5 : ECARTS LATÉRAUX DU CENTRE DES SPHÈRES DU CHEMIN DE CHAMPS PITTEL ENTRE LES MESURES DU MS60 ET DU HERON	- 39 -
GRAPHIQUE 6 : ECARTS ALTIMÉTRIQUES DU CENTRE DES SPHÈRES DU CHEMIN DE CHAMPS PITTEL ENTRE LES MESURES DU MS60 ET DU HERON	- 40 -

1 INTRODUCTION

Actuellement, de nouveaux systèmes d'acquisition apparaissent sur le marché, particulièrement dans le domaine de la géomatique et de la lasergrammétrie. Ils se présentent sous forme de lasers scanners terrestres 3D mobiles. Ces instruments sont construits sur la base de lasers scanners terrestres statiques qui permettent de mesurer des milliers de points en quelques secondes. Il y a encore peu de temps, cette instrumentation était lourde, onéreuse et complexe à l'utilisation. Les différents algorithmes de calage de nuage-nuages qui se cachent derrière ont rapidement évolués et rendent possible, depuis quelques années, des capteurs embarqués. Les nouveaux systèmes scanners portables permettent de générer un nuage de point 3D d'un environnement intérieur et extérieur, avec un temps d'acquisition très court.

Dans le cadre de ce travail d'approfondissement, plusieurs tests sont effectués pour quantifier la précision d'un système de laser scanner mobile, à savoir le Heron AC-1 de l'entreprise Gexcel. Un ensemble de mesures sont réalisées dans les locaux de la HEIG-VD et dans ses alentours. De plus, des mesures GNSS, des scans au Faro Focus et des mesures avec la station totale Leica Nova MS 60 permettront de mettre en évidence certains critères d'analyse. Ces mesures sont les valeurs de base pour l'identification et la comparaison de la précision du système. Le Heron est également évalué dans l'ensemble des produits existants sur le marché selon une liste de caractéristiques.

De plus, des mesures mobiles à l'aide d'un scooter sont effectuées pour évaluer la possibilité d'un relevé de corps de rue pour des projets d'aménagements territoriaux. Plusieurs tests ont été réalisés pour évaluer les limites de cette méthode d'acquisition.

1.1 OBJECTIFS ET BUTS

L'objectif est d'identifier des bancs de tests intérieurs et extérieurs, afin de déterminer une éventuelle dérive ainsi que de tester la précision de cette instrumentation. En collaboration avec l'expert et le professeur, le but est également d'identifier la précision de la modélisation fournie par ce système à l'aide d'un scooter, à travers des campagnes de mesures et d'évaluer de manière objective les différentes acquisitions.

1.2 CAHIER DES CHARGES

Voici les différentes tâches analysées et testées dans ce travail (cf. annexe 1_2) :

- Comparaison des solutions existantes de systèmes mobiles sur le marché
- Système en mode sac à dos dans un bâtiment
- Système en mode sac à dos en extérieur
- Système monté sur un véhicule pour le relevé de corps de rue

1.3 SITUATION DE DÉPART

Les lasers scanners sont souvent utilisés dans le monde de la géomatique pour des relevés d'ouvrage, des mandats d'architecture, des galeries souterraines ou encore des parois rocheuses. Les scanners laser étant jusqu'à ce jour statiques, présentent des temps d'acquisition plus ou moins importants selon le chantier à modéliser. Le système du Heron AC-1 est quant à lui mobile. Le gain de temps en ce qui concerne l'acquisition des données est considérable.

2 RAPPEL THÉORIQUE

Voici quelques notions fondamentales en relation avec les instruments d'acquisition laser 3D mobile et le traitement de nuages de points, pour une bonne compréhension du présent rapport.

2.1 MOBILE MAPPING (CARTOGRAPHIE MOBILE)

La cartographie mobile est le processus d'acquisition des données 3D à l'aide d'un véhicule ou en marchant. Les systèmes sont généralement équipés de capteurs LIDAR et d'appareils photos, ou encore d'autres outils de télédétection. De plus, ils sont composés de récepteur de navigation, comme par exemple des stations inertielles (IMU) ou des antennes GNSS. Le but de cette méthode est d'obtenir des cartes numériques 3D ainsi que des données géoréférencées.

2.2 CALAGE NUAGE-NUAGES

Pour un système mobile, les scanners capturent successivement des parties d'une même région de l'environnement, mais de points de vue différents, que l'on nomme nuage de points. Il existe donc un recouplement, plus ou moins important entre les nuages de points, selon l'avancement. Le calage par la méthode nuage-nuages est l'assemblage et la combinaison de ces nuages de façon cohérente. L'algorithme de calcul qui se cache derrière se nomme : ICP (*Iterative Closest Point*). De manière

générale, suite à la détection des points par le critère du plus proche voisin, il compare itérativement les transformations (calages des nuages) pour minimiser la distance entre les points de deux scans.

Voici un exemple de calage entre deux nuages de points réussi selon l'algorithme ICP (cf. figure 1).

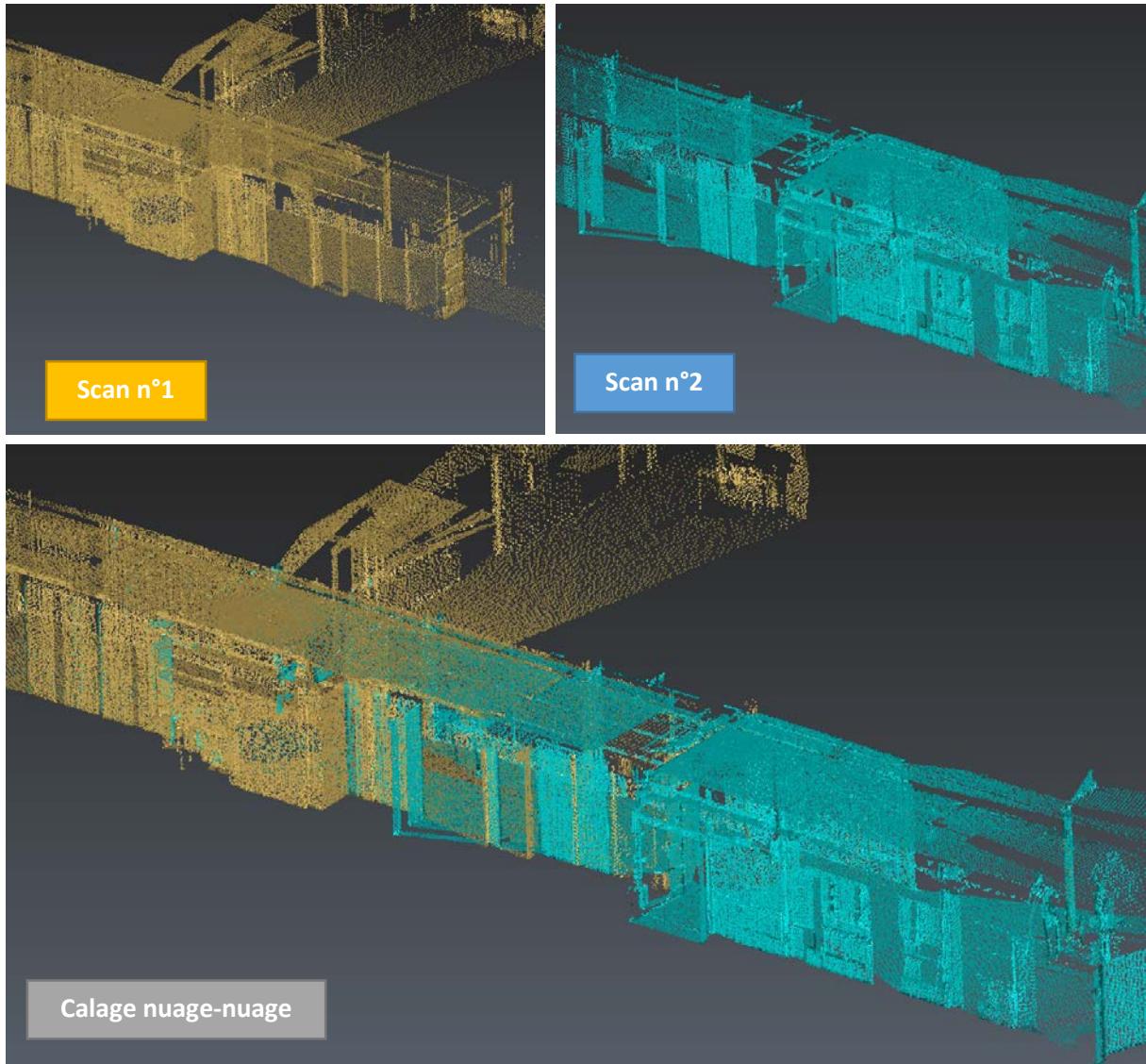


Figure 1 : Exemple de calage entre deux nuages de points réussi par la méthode nuage-nuage

2.3 MÉTHODE « STOP AND SCAN »

La méthode de calage des nuages de points, connue sous le nom de « STOP AND SCAN », s'applique aux données lorsque le centre du scanner est connu. Il est déterminé avec des mesures secondaires qui sont en général effectuées à l'aide d'une station totale. Lors du traitement, il est possible de définir ces centres de scans avant le lancement du calcul des calages des nuages. L'avantage premier de cette méthode est le gain de temps. De plus, lors de l'acquisition, la mise en place de sphères pour l'étape du géoréférencement n'est pas nécessaire.

3 INSTRUMENTATIONS

3.1 HERON AC-1

3.1.1 Généralités

cf. annexe 3_1_1

Le Heron AC-1 de l'entreprise Gexcel est un scanner laser mobile 3D. Il est conçu pour l'acquisition de nuages de points à l'intérieur et à l'extérieur, avec un temps d'acquisition très court. Les mesures effectuées par le système sont uniquement relatives (non-géoréférencées).

Un mode d'emploi expliquant l'utilisation du système dans le mode « mapping » et quelques conseils pratiques se trouvent dans l'annexe 3_1_1.

3.1.2 Description

Le système du Heron AC-1 est assemblé sur un sac à dos et se compose des éléments suivants :

- Un Velodyne HDL -32^E (cf. chapitre 3.1.5)
- Une station inertielle IMU (cf. chapitre 3.1.6)
- Un PC industriel pour le système de calcul et le traitement des différents algorithmes qui se nomme : *Simultaneous Localization And Mapping* (cf. chapitre 3.1.7)
- Une tablette PC pour la visualisation en temps réel de l'acquisition en cours



Figure 2 : Description des éléments composant le HERON AC-1¹

¹ Source : <http://www.gexcel.it/en/heron-overview> [consulté le 26.06.2017]

3.1.3 Fonctionnement

Dans le système de calcul de localisation et de cartographie du Heron, une approche du type SLAM (cf. chapitre 3.1.7) est mise en œuvre. Selon ma compréhension et les informations du constructeur, elle est principalement basée sur l’alignement des nuages de points par la méthode directe et par les informations de la station inertuelle. De plus, l’algorithme combine les informations qui sont des éléments structurants tels que des lignes, des plans et des contours, pour identifier des zones homologues afin de créer la correspondance selon l’avancement.

Comment l’assemblage de tous les éléments qui est le Heron converge vers un résultat ? Quelles sont les inconnues et comment les obtenir ?

1. Le scanner Velodyne HDL -32^E acquiert des mesures qui permettent une base pour l’algorithme de calcul.
2. L’algorithme de calcul du type SLAM va répondre à la question : « Où je me trouve et comment je me localise dans mon environnement ? »
3. La station inertuelle va répondre à la question : « Comment je me déplace et quels sont mes mouvements relatifs ? ». Les accéléromètres vont définir la vitesse de déplacement, et les gyroscopes vont calculer les mouvements relatifs selon trois directions (x, y, z).

Toutes ces informations permettent la création de « Local Maps » dans un deuxième temps.

3.1.3.1 *Local Maps (Carte locale) et optimisation*

Lors du traitement, le logiciel va assembler les mesures du scanner pour créer des « Local Maps » (carte locale) ou autrement dit une station de scan virtuelle tous les 5 mètres environ. La définition de la distance d’environ 5m doit provenir soit d’une horloge interne (tablette), soit de l’accéléromètre lors de l’avancement, mais c’est une hypothèse personnelle. Aucun paramètre ne permet de modifier cette longueur et aucune donnée n’est disponible pour l’utilisateur. Ce processus va permettre le calcul des nuages de points par ICP et une optimisation dans un deuxième temps, selon le parcours effectué (figure 4).

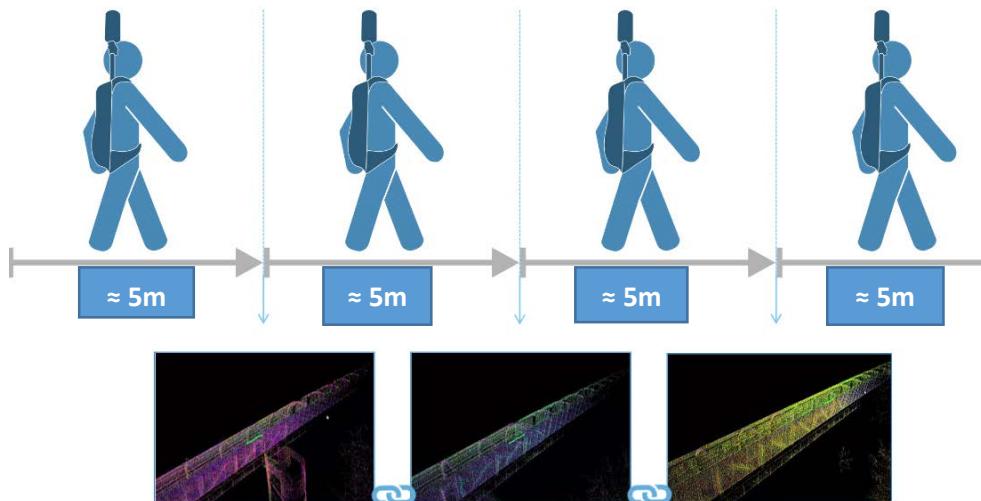


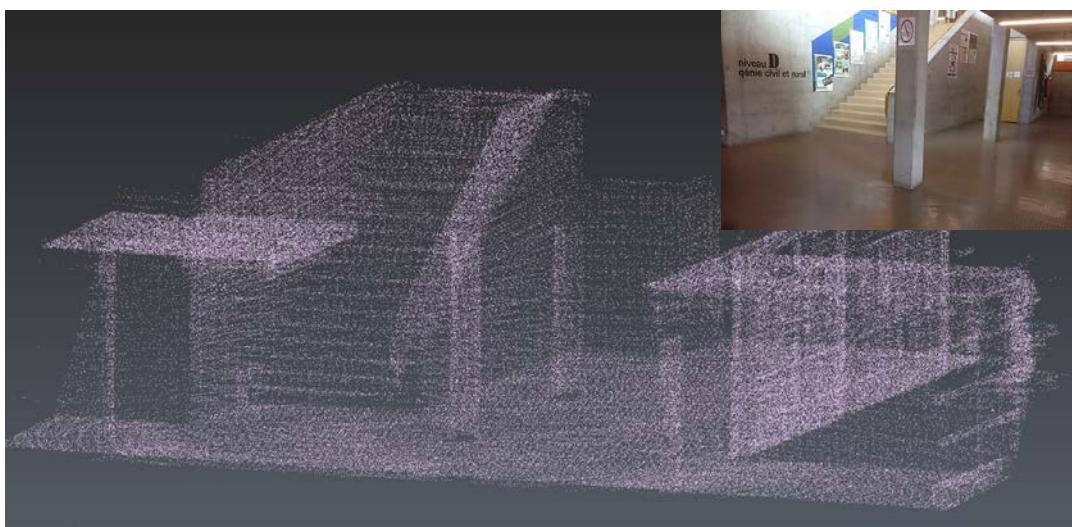
Figure 3 : Crédit : Gexcel - HERON Desktop

Création des Local Maps (Carte locale) par le logiciel HERON Desktop lors du traitement²



Crédit : Gexcel - HERON Desktop

Schéma de l'optimisation des Local Maps (Carte locale) par le logiciel Heron Desktop³



Crédit : Gexcel - HERON AC-1

² Source : <http://www.gexcel.it/en/heron-overview> [consulté le 26.06.2017]

³ Source : <http://www.gexcel.it/en/heron-overview> [consulté le 26.06.2017]

3.1.4 Mode d'utilisation

Il existe deux modes de travail qui se nomment d'une part *mapping* (cartographie) et d'autre part *traking* (surveillance). Le premier mode permet une visualisation et un contrôle en temps réel, ainsi que l'acquisition de nuages de points et la génération de carte locale en 3D. Le second, suite à la détermination de la position du système, permet la vérification en temps réel des changements entre la géométrie réelle et un nuage de points introduit dans le système ultérieurement. Les différences sont visualisables selon un code de couleurs (différences entre le nuage DOIT introduit et le nuage AVOIR directement mesuré). Le mode « *traking* » n'a pas été testé lors de ce travail.

3.1.5 Velodyne HDL -32^E

Développé par la firme Velodyne LIDAR, le modèle Velodyne HDL -32^E est un capteur de télédétection à haute résolution. Cette technique, connue généralement sous le nom de LIDAR, est fondée sur l'analyse des propriétés d'un faisceau de lumière renvoyé vers son émetteur⁴.

Ce capteur est petit, léger et comporte 32 faisceaux laser qui mesurent sur un champ de vision vertical de 40°. Son mouvement rotatif permet une acquisition sur le plan horizontal de 360°. La mesure électronique de distance s'appuie sur la technique du temps de vol. D'autre part, selon l'entreprise, le mode de double retour permet l'acquisition d'environ 700'000 points par seconde.

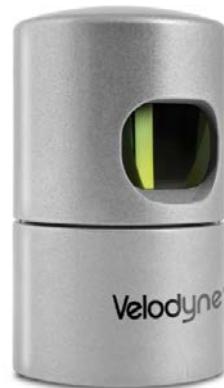


Figure 6 : Scanner rotatif Velodyne HDL -32E

Tableau 1 : Caractéristiques du laser du scanner rotatif Velodyne -32^E⁵

Classification du laser	Classe 1 (Eye-safe)
Longueur d'onde	903 nm
Poids	1 kg
Taille du faisceau (@screen*)	12,7 mm (Hz) x 9,5 mm (Vz)
Divergence du faisceau**	0.18° ou 3.0 mrad (Hz) et 0.07° ou 1.2 mrad (Vz)

Compréhension personnelle des informations :

- *@screen : taille du faisceau à la sortie
- **La divergence du faisceau = angle total de divergence

L'analyse complète du faisceau se trouve au chapitre 6.1.7

⁴ Source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Lidar> [consulté le 01.06.2017]

⁵ Source : <http://velodynelidar.com/hdl-32e.html> [consulté le 01.06.2017]

3.1.6 Une station inertielle (IMU)

Dans le système du Heron, aucune calibration de l'IMU n'est nécessaire avant l'acquisition. Dans le cas d'une localisation à l'aide d'une station inertielle, il s'agit d'informations relatives, car ce sont des mesures sur des mouvements relatifs qui sont effectuées. L'IMU est composée de trois axes orthogonaux avec un accéléromètre et un gyroscope par axe. D'une part, la vitesse sera mesurée par l'accéléromètre en l'intégrant deux fois dans le référentiel déterminé. D'autre part, le gyroscope permet de déterminer les vitesses angulaires par intégration simple (Höflinger, 2014, p. 129). Ces informations relatives seront utiles au système uniquement à la création des « Local Maps ». D'après les indications du constructeur, la station inertielle du Heron AC-1 n'est pas de très bonne qualité.

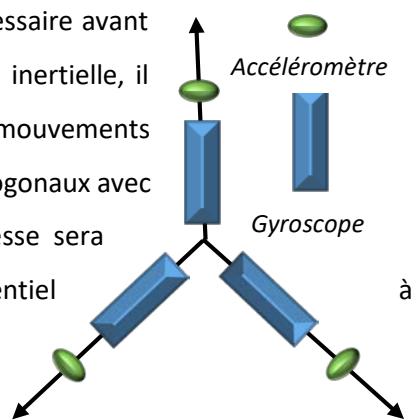


Figure 7 : Schéma d'une station inertielle (IMU) avec les accéléromètres et les gyroscopes

3.1.7 Algorithme *Simultaneous Localization And Mapping* (SLAM)

Cet algorithme est basé essentiellement sur des méthodes d'estimations statistiques. Il s'agit de filtrages permettant une approximation de l'état d'un système dynamique à partir des données en provenance d'un ou plusieurs capteurs. Dans notre cas, ces informations viennent de la station inertielle et du Velodyne. On cherche à connaître l'état courant qui correspond le mieux aux données récupérées et, éventuellement, aux informations dont on dispose au préalable. Il existe plusieurs techniques et approches pour les comparaisons d'environnements (Hamzaoui, 2014, p. 26) :

- L'approche directe est généralement adaptée pour l'utilisation de capteurs laser. Cette méthode utilise les données brutes des mesures du capteur laser pour représenter l'environnement sans aucune extraction de caractéristiques prédéfinies, tels que des plans (murs) ou des angles. L'inconvénient de cette méthode est qu'il faut une grande capacité de stockage et une puissance de calcul élevée.
- L'approche basée sur les caractéristiques géométriques permet de réduire les données en caractéristiques spécifiques. Il est possible de déterminer des primitives géométriques, comme des plans, arc de cercles et des angles, qui permettront de créer une base de comparaison simple. Il existe également plusieurs méthodes de détermination de ces primitives en fonction des éléments que l'on veut en retirer. Cette approche n'est donc pas opérationnelle dans des environnements trop complexes et non structurés.
- L'approche basée sur une grille d'occupation est une division de l'environnement selon un quadrillage avec une taille de cellules rectangulaires définies. La finesse des comparaisons va directement dépendre de la taille des cellules. En plus de cette discréétisation de l'espace, une mesure de probabilité d'occupation est estimée pour chaque cellule indiquant si celle-ci est

occupée (1) ou non (0). Sur la base de cette caractéristique, il est alors possible de mettre en relation deux cartes pour une comparaison. Cette méthode fonctionne bien pour des données qui ne viennent pas de capteurs comportant les mêmes précisions et les mêmes caractéristiques.

3.1.8 Problématique du SLAM

La plus grande problématique du SLAM est celle de la nécessité d'une carte pour se situer, ainsi que de connaître la localisation relative à cette carte à un instant (t). La détermination du positionnement relatif du système en relation avec celle de la station inertie est donc directement liée à la précision de l'acquisition du scanner. Si le système est composé d'un bon IMU, ce qui n'est pas le cas du Heron d'après les informations du constructeur, la cartographie sera alors meilleure. Dans ce travail, il n'y a pas de comparaison liée à la station inertie qui est effectuée, car les informations sont cryptées et l'ensemble de l'algorithme est breveté.

3.1.9 Caractéristiques techniques

Voici un tableau décrivant les caractéristiques techniques du Heron AC-1 (Gexcel, 2016, p. 2).

Tableau 2 : Caractéristiques techniques du Heron MS-1⁶

Portée	100 mètres
Champ de vision vertical	40° (-10° ; +30°)
Précision globale finale	Env. 5 cm
Précision locale (Local Maps)	Env. 2 cm
Temps d'initialisation	Env. 30 secondes
Temps de travail (avec une batterie)	Env. 3h
Format de sortie	E57, las, ply

⁶ Source : <http://www.gexcel.it/en/solutions/heron> [consulté le 01.06.2017]

3.2 AUTRES LASERS SCANNERS MOBILES

Dans un premier temps le Heron AC-1 est comparé au Leica Pegasus Backpack (chapitre 3.2.1 et 3.2.2) et ensuite avec l'ensemble de système portable existant (cf. chapitre 3.2.3).

3.2.1 Leica Pegasus Backpack

Sur le marché actuel, le système Leica Pegasus Backpack (sac à dos) est le scanner mobile qui présente le plus de ressemblance avec le Heron AC-1. Un tableau récapitulatif des similarités et des différences entre les deux systèmes est présenté ci-dessous⁷.



Figure 8 : Leica Pegasus Backpack

Tableau 3 : Similarités et différences générales entre le système scanner laser 3D Pegasus Backpack et le Heron AC-1

Similarités	<ul style="list-style-type: none"> • Assemblage du système sur un sac à dos • Calcul des calages de nuages relatifs de points basé sur l'algorithme SLAM • Visualisation de l'acquisition en temps réel avec une tablette • Technologie de scanner : Velodyne
Différences	<ul style="list-style-type: none"> • Caméra avec vue calibrée 360° (capteur thermique, capteur de pollution de l'air, radar de pénétration du sol sur le système voiture) * • Positionnement GNSS (nuages directement géoréférencés) en plus de l'algorithme SLAM • Initialisation de l'IMU avant l'acquisition des mesures (étape nécessaire pour mettre en relation le GNSS avec les mesures relatives de l'IMU) • Coût (cf. tableau 4)

* D'après les informations de la firme Gexcel, le système du Heron AC-1 possédera également une caméra 360° à partir du mois de septembre 2017.

⁷Source image : <http://survey.crkennedy.com.au/products/3d-laser-scanning/leica-hds-3d-laser-scanners/leica-pegasus-backpack>

3.2.2 Différences des caractéristiques techniques

Dans le tableau suivant, une comparaison des différences techniques entre le Pegasus Backpack et le Heron est présentée.

Tableau 4 : Différences techniques entre le Pegasus Backpack et le Heron AC-1⁸

	Pegasus Backpack	Heron AC-1
Portée [m]	100	100
Type de scanner	2 Velodyne VLP-16	1 Velodyne HDL-32 ^E
Caméra	5 (160MP)	Aucune
Prix [frs]	Dès 230'000.-	Dès 90'000.-
Poids [kg]	13	6.7
Acquisition [pts/s]	600'000	700'000
Angle vertical [°]	+15/-15	+30/-10
Précision relative [cm]	2-3	2
Précision absolue [cm]	5-50	5
Temps de batterie [h]	4	3

Le Pegasus Backpack se différencie de manière générale par son domaine d'application ainsi que son prix. De plus, la navigation GNSS permet un géoréférencement au moment de l'acquisition, ce qui n'est pas le cas du Heron qui est un système uniquement relatif. Le Heron privilégie les acquisitions destinées au domaine de la géomatique et de l'architecture, tandis que le Pegasus est conçu pour d'autres types d'utilisations. Son assemblage avec notamment ses 5 caméras et ses différents capteurs lui permettent d'intervenir dans les domaines suivants (Leica, 2017, p. 1) :

- Documentation professionnelle pour du BIM
- Documentation de sites en 3D pour l'intervention dans des situations d'urgence, dans le but de sauver des vies
- Documentation de site lors d'interventions en relation avec des catastrophes naturelles

Même si le Heron AC-1, n'est pas prévu pour ce genre d'acquisitions dans un premier temps, il pourrait toute même le devenir.

3.2.3 Comparaison de systèmes

cf. annexe N_3_2_3

Le système du Heron AC-1 n'est pas comparé au système mobile monté sur une voiture, car il n'a pas été conçu pour cette utilisation. Voici un tableau comparatif (cf. tableau 5) qui met en relation le Heron AC-1 avec l'ensemble des appareils existants pour des méthodes de levé en mode « Walking » (Marche). Ce sont tous des systèmes mobiles portables. Le prix n'est pas comparé, car la plupart du temps, l'information n'est pas donnée directement par le constructeur.

⁸ Source : <http://leica-geosystems.com/fr-fr/products/mobile-sensor-platforms/capture-platforms/leica-pegasus-backpack> [consulté le 23.06.2017]

Tableau 5 : Tableau comparatif du système du Heron AC-1 avec les systèmes scanners mobiles existants actuellement sur le marché⁹

	Heron AC-1 	ZEB-REVO 	Scanner Freestyle3D 	IMS - 2D 	DPI-8X 3D Scanner 
Entreprise	Gexcel	GeoSLAM	Faro	Viametris	DOT product
Portée [m]	100	30	1 à 3	-	0.3 à 2
Précision [cm]	5	3 à 30	0.1	< 1	-
Acquisitions [pts/s]	700'000	43'200	-	43'240	-
Poids [kg]	6.7	4.1	env. 2	1.5	1
Capacité de travailler en extérieur	Oui	Oui	Non	(Oui) <i>Possible selon l'environnement</i>	Non
Visualisation en temps réel	Oui	Non	Non	Oui	Oui
Acquisition mobile (voiture)	Oui	Non	Non	Non	Non
Caméra	(Non) <i>Dès septembre</i>	Oui <i>GoPro technologie</i>	Non	Oui	Oui
Destination	Modélisation 3D	Modélisation 3D	Scanner de précision	Relevés architecturaux (uniquement en 2D)	Relevé architecturaux spécifique

⁹ Sources : Les images et les informations techniques de chaque système ont été récupérées sur le site internet des entreprises en question (cf. annexe N_3_2_3)

3.2.4 Avis personnel

Le Heron AC-1 est un outil de travail qui comporte des avantages qui le rendent très intéressant en comparaison avec sa concurrence.

Premièrement, la prise en main et l'utilisation sont très simples. Cet atout permettrait par exemple que, au sein d'une entreprise, l'acquisition se fasse par un apprenant. En d'autres termes, il ne faut pas avoir de connaissances de base pour une bonne utilisation de cette instrumentation. Je n'ai pas pu comparer ce critère avec d'autres systèmes, car aucun test n'a été effectué sur les autres scanners. De ce fait, et d'après les vidéos consultées sur le web, les autres systèmes ne doivent pas être plus complexes à l'utilisation. D'autre part, le temps d'acquisition est très rapide. Un ensemble de mesures conséquentes peut se faire en quelques minutes de marche. En moins de cinq minutes, j'ai acquis, à l'aide du Heron AC-1, sept étages de la HEIG-VD.

Deuxièmement, la visualisation en temps réel permet un premier contrôle de l'acquisition, ce qui n'est pas le cas des scanner portable ZEB-REVO. Dans le cas de mesures extérieures, la visualisation sur la tablette permet de contrôler que le système acquiert les données correctement. D'autre part, lors de mesures intérieures, le recalage des « Local Maps » en haut des escaliers ne fonctionne pas toujours. Il est donc facile d'identifier les zones dans lesquelles il faudra repasser.

Troisièmement, la station inertuelle (IMU) ne nécessite aucune calibration. Le Pegasus Backpack, quant à lui, a besoin d'une calibration conséquente pour mettre en relation le GNSS avec les mesures relatives de son système inertiel avant chaque session d'acquisition. Donc, en plus d'être simple à l'utilisation, on peut mesurer directement.

Le système du Heron AC-1 comporte également des inconvénients qui ne sont pas négligeables.

Comme déjà évoqué (cf. chapitre 3.1.1), le système fonctionne uniquement en relatif. Suite à ce travail, je peux dire que le géoréférencement d'un nuage de points n'est pas toujours évident et comporte quelques notions de calcul de base. Un capteur de positionnement GNSS, comme sur le Pegasus, pourrait diminuer le temps de traitement de manière considérable.

Au final, suite à la présentation de ces différents avantages et inconvénients, en relation avec les autres systèmes portables mobiles, le système du Heron présente des caractéristiques intéressantes. Donc, si je devais acheter un système de scanner portable, sans connaître les prix, mon choix se porterait sur le HERON AC-1.

3.3 AUTRES INSTRUMENTATIONS UTILISÉES

3.3.1 Faro Focus 3D 120

Ce scanner permet des acquisitions de nuages de points précis (2mm) avec une portée maximale d'environ 300 mètres, la mesure s'effectue par la méthode du déphasage¹⁰. Principalement utilisé pour des relevés intérieurs, son champ d'application est très large dans le domaine de la géomatique actuelle, notamment pour des contrôles d'excavation, des surveillances, des levées de façade et d'autres types d'inspection. Dans le cadre de ce travail, il servira de base de référence pour le test de la dérive (cf. chapitre 7.3) et les comparaisons des précisons d'éléments dans un système de coordonnées absolues (cf. chapitre 7.6).

3.3.2 GNSS - Leica Viva GS14

L'antenne Leica Viva GS14 est utilisée pour des mesures en mode RTK avec l'antenne du toit de la HEIG-VD du réseau Swipos. De plus, elle a servi à la détermination de centres de sphères, ainsi que pour le test de la dérive (cf. chapitre 7.1.4 et chapitre 8.3)

3.3.3 Leica Nova MS60

La station totale MS60 de l'entreprise Leica est prévue pour l'acquisition de mesures de grandes précisions (1mm + 1.5ppm¹¹). Elle servira d'instrument de base pour le géoréférencement des scans au Faro par la méthode « STOP AND SCAN » ainsi que pour les scans des sphères pour la détermination précise du centre des sphères (cf. chapitre 7.1.4 et chapitre 8.3).



Figure 9 : Leica Nova MS60

3.4 ACCESSOIRES

Lors de ce travail, les accessoires suivants ont été utilisés pour les différentes acquisitions :

1) Sphères (cf. annexe 6_1_2)

- a. Diamètre : 152mm
- b. Diamètre : 200mm

3) Cibles

- a. Damiers (non visibles lors de l'acquisition, détectables au traitement)

2) Prismes

- a. Prismes standard Leica
- b. Mini-prismes Leica 360°

- b. Cibles Gexcel (non visibles lors de l'acquisition, non détectables au traitement) (cf. annexe N_3_4)

¹⁰ Source : <http://www.faro.com/fr-fr/produits/releve-3d/scanner-laser-3d-faro-focus-3d/apercu> [consulté le 03.07.2017]

¹¹ Source : leica-geosystems.com/products/total-stations/multistation/leica-nova-ms60 [consulté le 03.07.2017]

4 LOGICIELS

4.1.1 HERON Desktop (version 2.0.0)

cf. annexe 3_1_1

Développé par la firme Gexcel, ce logiciel, suite à l'acquisition avec le Heron AC-1, permet le traitement des nuages de points et leur recalage. Il prend en compte toutes les mesures effectuées par le Velodyne et la station inertuelle (IMU). L'assemblage et le traitement de plusieurs acquisitions ne sont pas possibles. Il faut donc bien réfléchir au parcours avant le traitement.

Le détail du processus de traitement et certaines problématiques sont décrits dans l'annexe citée ci-dessus.

4.1.2 JRC 3D Reconstructor (version 3.3.0.665)

cf. annexe N_4_1_2

Ce logiciel spécialement conçu pour la gestion de nuages de points de sources multiples est également développé par l'entreprise Gexcel. Il permet l'enregistrement et le géoréférencement des nuages de points. De plus, il est particulièrement adapté pour le calage selon la méthode de « nuage-nuages » (cf. chapitre 2.2).

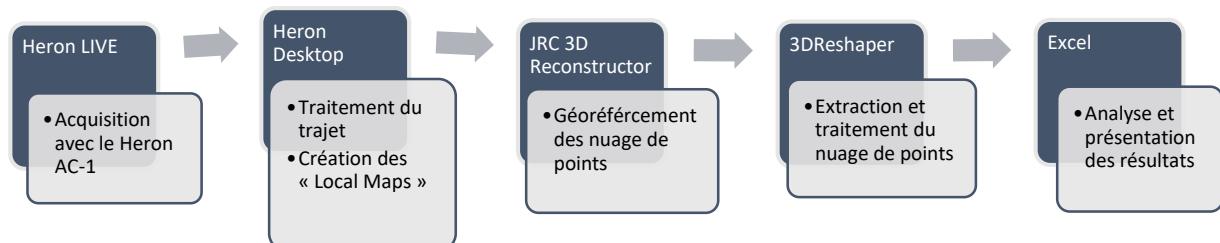
La démarche des traitements de nuages de points est décrite dans l'annexe citée ci-dessus. Ce document a été établi par Arthur Mancini.

4.1.3 3DReshaper (version 17.0.04.24386)

Développé en France par l'entreprise Technologit, ce logiciel est dédié au traitement de nuages de points pour diverses applications. Il comprend un grand nombre de fonctionnalités pour répondre aux problématiques liées à la modélisation et à l'inspection.

4.1.4 Chaine de traitement

Voici un descriptif de la chaîne de traitement utilisée pour la quasi-totalité des trajets analysés dans ce travail :



5 JEUX DE MESURES

Un jeu de test dans la salle D01 a été effectué pour la prise en main du Heron AC-1. Les tableaux suivants montrent l'ensemble des trajets effectués avec le Heron AC-1 lors de ce travail. Les mesures se sont déroulées sur une période d'une semaine (du 02.06.2017 au 09.06.2017).

5.1 TRAJETS INTÉRIEURS

N°	Nom	Croquis
T1	D01-K cf. annexe 6_4 cf. chapitre 6.4 → page 33	<p>Trajet effectué au Heron</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 porte traversée 6 escaliers Durée : 5min <p>Étage K Étage J Étage H Étage G Étage F Étage E Hall Salle D01 3 sphères 3 sphères 3 sphères 2 sphère 1 sphère 1 sphères</p> <p>97301/97302/907303 95301/905302/95303 94902/94901 93902 92103</p> <p>91241/91222/91911</p>
T2	Dérive cf. chapitre 6.2 → page 26	<p>Trajet effectué au Heron</p> <ul style="list-style-type: none"> 6 portes traversées 0 escalier Durée : Aller → 2min Aller-retour → 5min <p>Sphères mesurées au GNSS en mode</p> <p>Aller Aller-retour Sphères Sphères</p>
T3	Cylindres cf. chapitre 6.1 → page 19	<p>Trajet effectué au Heron</p> <p>Extérieur</p> <ul style="list-style-type: none"> Cylindres de tailles différentes Muret Aller-retour Aller <p>Intérieur</p> <ul style="list-style-type: none"> Escalier Aller-retour Aller <p>Durée : Aller → 20s Aller-retour → 40s</p> <p>Distance : 2-3m</p> <p>Durée : Aller → 50s Aller-retour → 1:30min</p>

5.2 TRAJET EXTÉRIEURS (cf. CHAPITRE 7 → PAGE 36)

N°	Nom	Durée
T4	Champ	10s
T5	Champ au départ d'un pilier (élément en béton)	20s
T6	Champ avec arbre (h = 5-6m)	20s
T7	Escalier en colimaçon extérieur	30s
T8	Champ au départ d'une place goudronnée	30s
T9	Champ au départ du bord d'un bâtiment	40s
T10	Bord d'un bâtiment	30s
T11	Cours de la HEIG-VD (cf. chapitre 7.2 → page 36)	
	<ul style="list-style-type: none"> • Aller • Aller-retour • Cercle • Huit 	<ul style="list-style-type: none"> • 30s • 1min • 1min • 1min
T12	Champ hautes herbes et arbre	10s
T13	Chemin goudronné et forêt (cf. chapitre 7.3 → page 38)	5min
T14	Forêt	40s

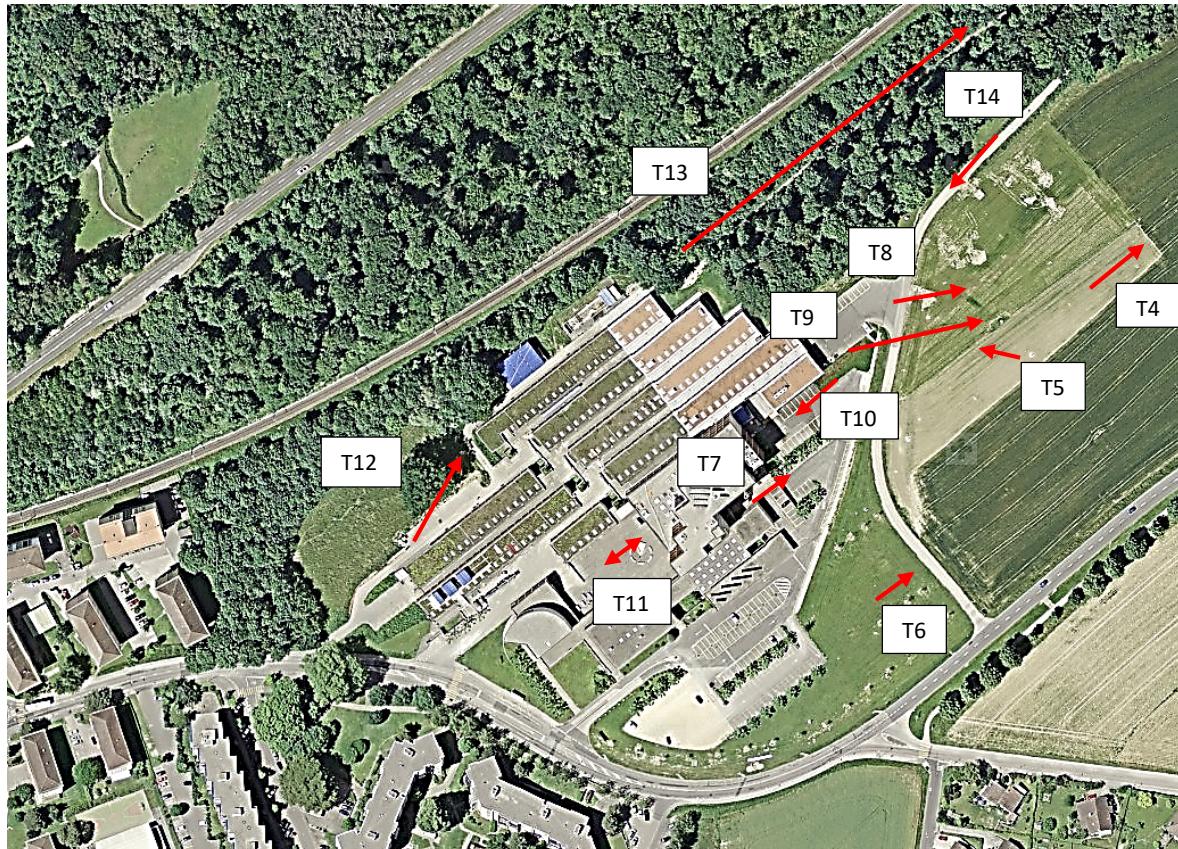


Figure 10 : Ensemble des trajets effectués avec le Heron AC-1 en extérieur autour de du site de la HEIG-VD¹²

¹²Source : <https://www.google.ch/maps> [consulté le 03.07.2017]

5.3 TRAJET EN SCOOTER

cf. annexe 5_3

N°	Nom	Rue	Vitesse testée
T15	Corps de rue étroit cf. chapitre 9.1 → page 42	Rue du Valentin	<ul style="list-style-type: none"> • 10 km/h • 20 km/h • 30 km/h • Pied (5 km/h)
T16	Corps de rue dense cf. chapitre 9.2 → page 43	Rond-point de la rue du Burron	<ul style="list-style-type: none"> • 10 km/h • 20 km/h • 30 km/h • 40 km/h • 50 km/h • Pied (5 km/h)
T17	Route principale cf. chapitre 9.3 → page 43	Rue du Buron	<ul style="list-style-type: none"> • de 0 à 30 km/h
T18	Rond-point cf. chapitre 9.4 → page 44	Avenue Aldimand et Rue de Clendy	<ul style="list-style-type: none"> • 10 km/h

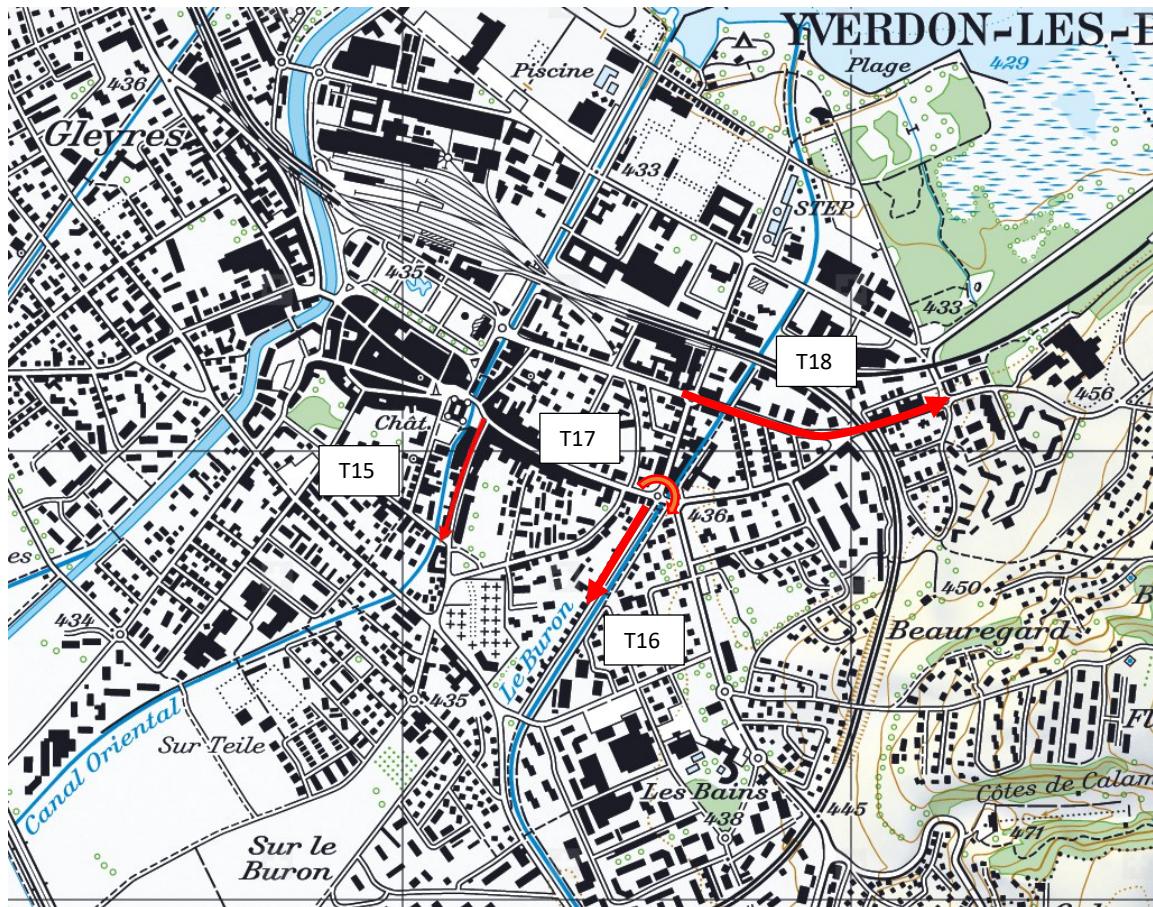


Figure 11 : Plan des trajets effectués en scooter en ville d'Yverdon-Les-Bains

6 TESTS INTÉRIEURS

6.1 PRÉCISION RELATIVE

6.1.1 Détection de cylindres

cf. annexe 6_1_1

Un choix de cylindres de différentes tailles et de différentes matières a été effectué afin de pouvoir comprendre le degré de spécificité que l'on peut obtenir sur un nuage de points pour de la modélisation. Plusieurs passages (cf. trajet T3) devant ceux-ci ont été effectués lors des acquisitions en intérieur et en extérieur, à une distance de 2 à 3 mètres. Le but, pour quantifier la précision relative du système par l'outil de détection de meilleure forme dans le logiciel 3DR, est de mettre en relation les écarts de détection des cylindres avec les diamètres vrais.

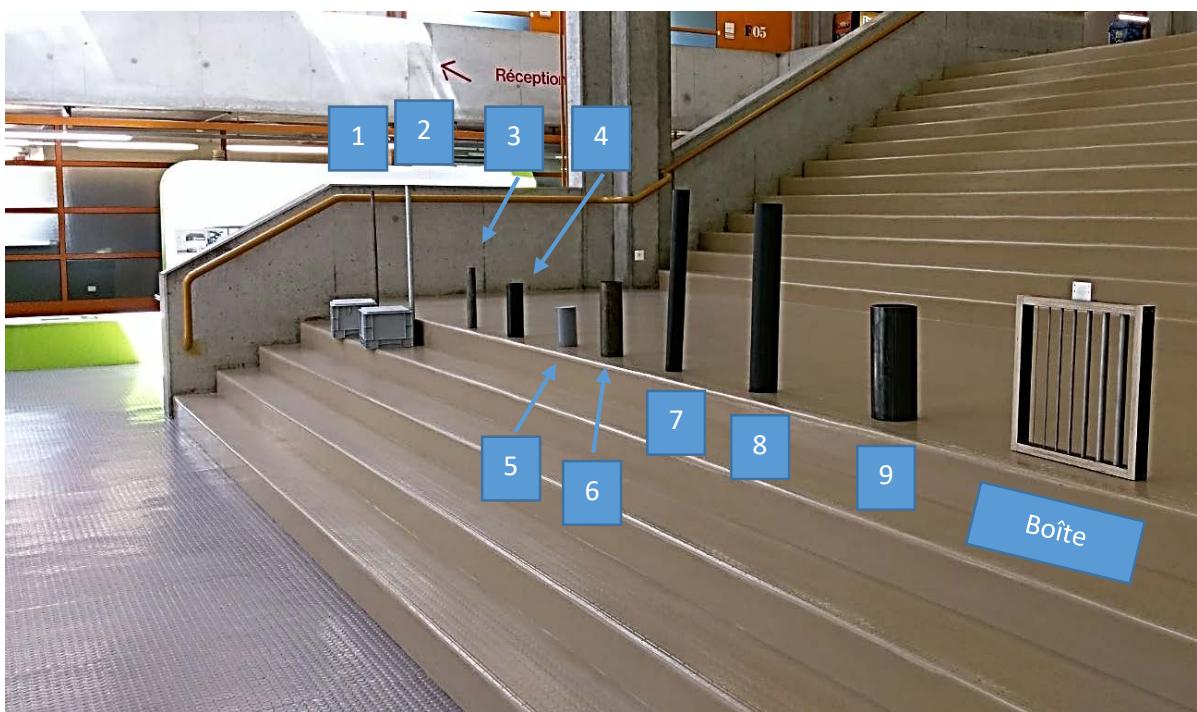


Figure 12 : Banc de test intérieur sur les escaliers du hall de la HEIG-VD

6.1.1.1 Résultats

Voici une synthèse des résultats de ce test :

- 1) Les barreaux de la boîte ne sont pas détectables (diamètre le plus grand : 2.5cm).
- 2) Suite à la détection des diamètres des cylindres, la valeur du diamètre est toujours trop grand à cause du bruit de mesures (cf. tableau 6). Cela ne signifie pas que le cylindre ne se situe pas au bon endroit.

Tableau 6 : Moyenne générale des écarts de la détection des cylindres de diamètres compris entre 5 à 16cm

Moyenne des écarts des détections des cylindres de diamètre de 5 à 16cm [cm]	-6
Ecart-type [cm]	4

- 3) Le parcours d'acquisition qui présente la meilleure détection est un aller simple. Le recalage des nuages créé après plusieurs passages n'est pas toujours exact, donc nous avons des cylindres avec plus de bruit de mesures. La détection est alors moins bonne.

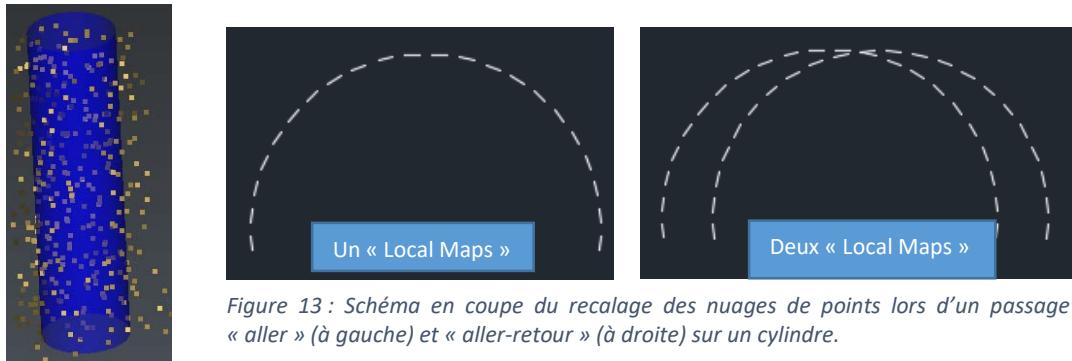


Figure 13 : Schéma en coupe du recalage des nuages de points lors d'un passage «aller» (à gauche) et «aller-retour» (à droite) sur un cylindre.

Figure 14 : Exemple du bruit de mesures lors d'un passage aller-retour sur le cylindre 8

- 4) Les cylindres en PVC sont meilleurs à la détection que les cylindres en métaux.

Au final, ce test donne les éléments de réponses suivants :

Pour des objets cylindriques, la modélisation est possible à partir d'un diamètre de 15 à 20 cm. Si l'on voulait obtenir l'information des barreaux d'une barrière d'un escalier métallique en dessous de 2.5cm, cela ne serait pas possible. D'autre part, la détection d'une barre principale comprise entre 5 et 15 cm est possible, mais avec un bruit de mesures d'environ 6cm (figure 15).

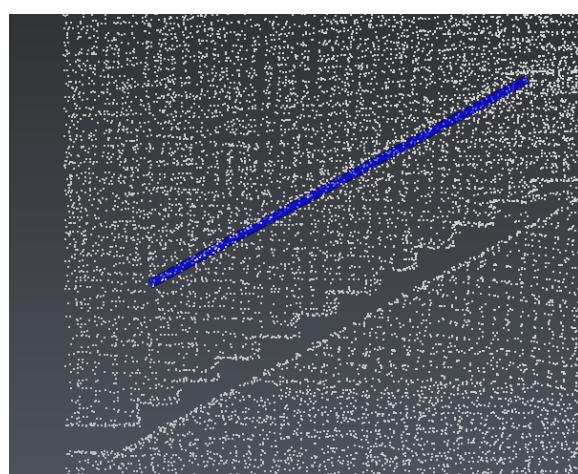


Figure 15 : Exemple de modélisation d'une barrière d'un escalier avec un diamètre de 8cm

6.1.2 Détection et distance entre sphères

cf. annexe 6_1_2

Une expérience très similaire à celle de la détection des cylindres a été effectuée sur des sphères. La raison de ce test est que les sphères sont notamment utilisées pour le géoréférencement suite à l'acquisition par scanner laser. Dans le cadre des différents jeux de données utilisés dans ce travail, 32 sphères ont été détectées pour cette expérimentation. Le but est de comparer la valeur du diamètre DOIT et AVOIR (après détection dans 3DR = précision relative à la détection et au bruit de mesures) et la position du centre de la sphère (précision relative entre les « Local Maps »).

6.1.2.1 Résultats de la détection

cf. annexe N_6_1_2_1

Voici la synthèse des résultats des tests de la détection de sphères :

- 1) Meilleures détections sur les sphères de diamètre de 200mm que sur celles de diamètre de 152mm, car la surface de détection est plus grande.

Tableau 7 : Moyenne des écarts de la détection de l'ensemble des sphères de diamètre 152mm et 200mm

Diamètres sphères	152mm	200mm	Δ [mm]
Moyenne de la détection [cm]	-5	-4	1
Ecart-type	3	2	[-]

- 2) Meilleures détections sur les sphères placées sur les embases et les trépieds que celles placées sur les goujons CFF, car aucun objet ne va créer de bruit de mesures supplémentaire (mur).

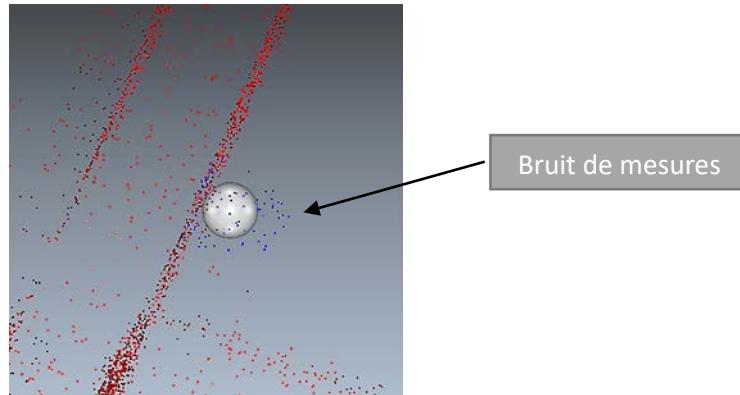


Figure 16 : Exemple de la détection d'une sphère dans un nuage de point du Heron AC-1

- 3) Meilleures détections de sphères lors d'un passage devant celle-ci, car lors de l'acquisition, plusieurs nuages (Local Maps) ne seront pas recalés de manière similaire.
- 4) La détection de sphères est toujours trop grande et la finesse de détection atteint une valeur moyenne de 5cm. Cette valeur représente le bruit de mesures du nuage du Heron.

Tableau 8 : Moyenne générale des écarts de la détection de l'ensemble des sphères utilisées dans le trajet T1 et T2

Moyenne des écarts de toutes les détections [cm]	-5
Ecart-type [cm]	3

6.1.2.2 Résultats (précision du centre des sphères)

cf. annexe N_6_1_2_2

Un comparatif de la distance 3D entre le centre des sphères a été effectué. La valeur de la distance DOIT provient des coordonnées du réseau de l'école et la valeur AVOIR des coordonnées relatives après la détection dans le logiciel 3DR en ayant fixé le diamètre DOIT de la sphère. Le centre des sphères qui ne sont pas connues dans le réseau de l'école a été scanné au MS60 et ensuite calculé. Le trajet utilisé comme référence est celui du T1 et T2.

Test 1 : Dans le tableau suivant, la comparaison a été faite sur des sphères qui se trouvent dans un même étage (petit mouvement altimétrique de la station inertie), à des distances relativement courtes (3 à 14 mètres), donc ne comportant que quelques Local Maps. Les sphères se situent d'une part dans la salle D01 et d'autre part dans les étages supérieurs (E à K).

Tableau 9 : Comparaison des distances 3D relatives entre le centre des sphères sur un même étage à courte distance avec la détection dans 3DR

N° point	Dist. 3D DOIT [m]	Dist. 3D AVOIR [m]	Δ 3D [cm]	Nombre de "Local Maps"
97302-97303	3.05	3.07	-2	2
95302-95303	3.34	3.36	-2	2
94901-94902	4.61	4.66	-5	2
97301-97302	4.64	4.66	-1	2
97301-97303	4.70	4.73	-3	2
91222-91911	8.22	8.25	-3	2
91241-91222	11.76	11.76	0	3
91241-91911	14.35	14.38	-3	3

Résultats 1 :

- Les écarts ne sont pas linéaires en fonction de la distance. Ils sont de l'ordre de quelques centimètres (1-5cm)

La distance est toujours plus petite. Le calage des « Local Maps » est donc toujours plus proche que la réalité dans ce cas.

Test 2 : Dans le tableau suivant, les distances 3D relatives sur un même étage ont été comparées, mais d'une longueur plus conséquente, donc avec plus de « Local Maps ».

Tableau 10 : Comparaison des distances 3D relatives entre le centre des sphères au plat à environ 120m

N° points	Dist. 3D DOIT [m]	Dist. 3D AVOIR [m]	Δ 3D [cm]	Nombre de "Local Maps"
1 à 4	114.80	114.76	4	23
2 à 5	119.44	119.39	5	23
3 à 6	119.38	119.33	5	23

Résultats 2 :

- Les écarts sont également de quelques centimètres (3 à 5cm). Le recalage des « Local Maps » est, cette fois-ci, plus éloigné de la réalité.

Test 3 : Dans le tableau suivant, les distances 3D relatives entre plusieurs étages ont été comparées dans le puits de l'escalier des étages supérieurs de l'école (étage E à K).

Tableau 11 : Comparaison des distances 3D relatives entre le centre des sphères entre plusieurs étages

N° points	Dist. 3D DOIT [m]	Dist. 3D AVOIR [m]	Δ 3D [cm]	Nombre de "Local Maps"	Nombre d'étages
93902-92103	20.09	20.06	2	4	1
93902-94901	8.77	8.69	8	4	1
93902-94902	7.98	7.99	-1	4	1
93902-95301	13.83	13.89	-6	8	1
93902-95302	10.49	10.38	11	8	2
93902-95303	23.57	23.50	6	8	2
93902-97301	11.30	11.26	5	15	4
93902-97302	7.88	7.77	11	15	4
93902-97303	7.20	7.03	16	15	4

Résultats 3 :

- Les écarts ne sont pas linéaires en fonction de la distance, ni du nombre d'étages.
- Les écarts sont de l'ordre du décimètre dès qu'un escalier entre en compte. Le recalage des « Local Maps » ou l'algorithme SLAM fonctionnent moins bien.

Conclusion :

Le Heron AC-1 fonctionne mieux dans des environnements plats. A mon avis, la station inertie qui n'est pas de bonne qualité doit être la cause directe de cette différence.

6.1.3 Précision des plans

cf. annexe 6_1_3

Afin de déterminer la précision relative du système en fonction de l'avancement et de la création des « Local Maps », deux emplacements tests ont été sélectionnés. En ce qui concerne le plan horizontal, le hall de l'école présente une surface favorable. Pour le plan vertical, les faces intérieures de l'escalier des étages F à K ont été retenues. Le choix de ces deux endroits est effectué avec l'hypothèse que leur construction présente une précision de l'ordre de ± 0.5 cm. Le jeu de mesures utilisé dans ce test est celui du trajet T1. Le but de cette expérience est de contrôler que les surfaces planes le soient aussi suite à l'acquisition.

6.1.3.1 Plans verticaux

L'escalier choisi dans ce test présente des étages similaires et un parcours en colimaçon. Voici un tableau de synthèse de la détection des plans verticaux de l'escalier de la HEIG-VD. Une plage de valeurs a été choisie en fonction de la précision des spécificités techniques du système.

Tableau 12 : Synthèse des pourcentages de points appartenant au plan vertical en fonction d'une plage de valeur (précision)

Plages [cm]	Nombre de points appartenant au plan n° 1 [%]	Nombre de points appartenant au plan n° 2 [%]
± 1	36.9	49.8
± 2.5	76.8	89.5
± 5	100	100
Remarques	<i>Le plan présente une bosse d'environ 7-8cm</i>	
		-

En conclusion, l'ensemble des points se trouve dans un plan d'une plage de 10cm. Le recalage des « Local Maps » des étages au milieu de l'escalier est décalé d'environ 7-8cm.

6.1.3.2 Plan horizontal

Le hall de l'école est un endroit favorable pour l'algorithme SLAM, car il comporte des éléments structurants bien répartis ; le recalage des nuages est donc de bonne qualité. Voici un tableau basé sur le même principe que celui pour les plans verticaux.

Tableau 13 : Synthèse des pourcentages de points appartenant au plan horizontal en fonction d'une plage de valeur (précision)

Plages [cm]	Nombre de points appartenant au plan [%]
± 1	72.7
± 2.5	97
± 5	99
Remarque	<i>Le plan présente un léger trou au milieu du hall d'environ 2cm</i>

Le plan horizontal est meilleur à la détection que les plans verticaux. Les valeurs ne peuvent malheureusement pas être comparées, car le test n'est pas identique. Au final, la précision de détection du Heron d'un plan horizontal est de ±2.5cm.

6.1.4 Divergence du faisceau du Velodyne -32E

La précision relative du système est aussi liée à la qualité du laser du Velodyne -32E. Dans le tableau ci-dessous, la taille de l'impact en relation avec la divergence du faisceau est présentée selon plusieurs distances. Deux hypothèses ont été effectuées, car aucune information n'a été trouvée dans les spécificités techniques.

- 1) *@screen : taille du faisceau à la sortie du Velodyne HDL -32^E
- 2) Angle de divergence du faisceau = Angle total de divergence et non la moitié de l'angle.

Tableau 14 : Taille de l'impact du laser du Velodyne -32^E selon la divergence du faisceau et certaines distances

Distance [m]	Divergence (Hz)	Taille de l'impact (hauteur) [cm]	Divergence (Vz)	Taille de l'impact (largeur) [cm]
5	0.18° ou 3mrad	1.5	0.8° ou 1.2mrad	0.6
10		3.0		1.2
20		6		3.4
30		9		4.6
50		15		6
100		30		12

Dans les spécificités du capteur qui se trouve dans le Velodyne, le constructeur précise que les réflectivités du signal retour sont calibrées. A mon avis, cela signifie que l'intensité du signal est traitée. Même si un traitement est effectué, la tache à l'impact commence à être conséquente à partir de 30m. Aucun test n'a été fait en relation avec la divergence du faisceau, mais il est possible de déduire que les objets de taille plus petite que la tache comprendront du bruit de mesures et ne seront pas forcements identifiables dans le nuage du Heron. Il est intéressant de soulever que lors du traitement dans le logiciel Heron Desktop, lors de la création de « Local Maps » et avec les réglages de bases, les points qui se trouvent à une distance supérieure à 40 mètre ne sont pas pris en compte dans le calcul.

6.2 DÉRIVE DU SYSTÈME

cf. annexe 6_2

L'ensemble des données du trajet T2 est utilisé pour ce test. Le but est de comparer le calage des nuages selon l'avancement du Heron AC-1 dans le couloir de l'étage D. Un relevé de base a été effectué à l'aide du Faro Focus (cf. annexe N_6_2), afin de pouvoir mettre en évidence la dérive. Les éléments qui vont permettre de la mettre en évidence sont les poteaux (cylindres) du couloir.

6.2.1 Détection selon trajet

cf. annexe N_6_2_1

Pour analyser le calage des nuages et la dérive, la détection des poteaux (cylindres) par l'outil de meilleure forme dans 3DR a été nécessaire. Le passage « aller-retour » est meilleur de 3.7cm.

Tableau 15 : Moyenne des détections des cylindres selon les deux passages effectués

Passages	Aller-retour	Aller	Δ
Moyenne [cm]	-1.1	-4.8	3.7
Ecart-type	0.8	2.1	-

Cette détection présente un résultat qui est différent des détections de cylindres (cf. chapitre 6.1.1). Selon moi, cette différence provient principalement du fait que le couloir de l'étage D comporte un grand nombre d'éléments structurants qui permet au SLAM et au recalage par ICP un meilleur résultat. De plus, les cylindres sont plus longs (plus de points lors de la détection) et ont des diamètres plus grands (16cm et 26.5cm).

6.2.2 Dérive selon trajet

cf. annexe 6_2_2

La première étape est de comparer si le calage des nuages est meilleur lors du parcours « aller-retour » que lors du trajet « aller ». Pour ce faire, les trois sphères de départ ont été fixées lors du géoréférencement des deux nuages de points.



Figure 17 : Croquis des sphères fixés lors du géoréférencement pour la dérive selon le trajet

Voici un tableau des écarts moyens dans la direction du couloir sur les trois sphères de départ à l'autre bout du corridor.

Tableau 16 : Ecart moyen (dans le sens du couloir D) suite au géoréférencement des 3 sphères de départ (1-2-3) sur les 3 sphères de fin (4-5-6)

	Δ longitudinal* [cm]	Δ latéral* [cm]	ΔH [cm]
Aller	-41	-27	-101
Aller-retour	48	-32	-193

* longitudinal : positif = devant

*latéral : positif = à droite

Comme le couloir D est long de 100 mètres, si une petite faute de détection est effectuée au départ, elle est reportée à la fin, comme dans le cas d'une polygonale lancée. Il n'est pas possible de dire par ce processus lequel des deux nuages est meilleur lors du recalage des « Local Maps ». Le passage « aller » ne va pas être pris en compte pour la suite de l'analyse, car la détection des poteaux (cylindres) du couloir D est meilleur lors du trajet « aller-retour ».

6.2.2.1 Géoréférencement Heron AC-1

Pour la suite du test, le géoréférencement du nuage complet a été fait sur les 6 sphères placées aux deux extrémités du couloir.

Tableau 17 : Ecarts des coordonnées du centre des sphères DOIT (levé GNSS) avec le géoréférencement du nuage du couloir D acquis avec le Heron AC-1

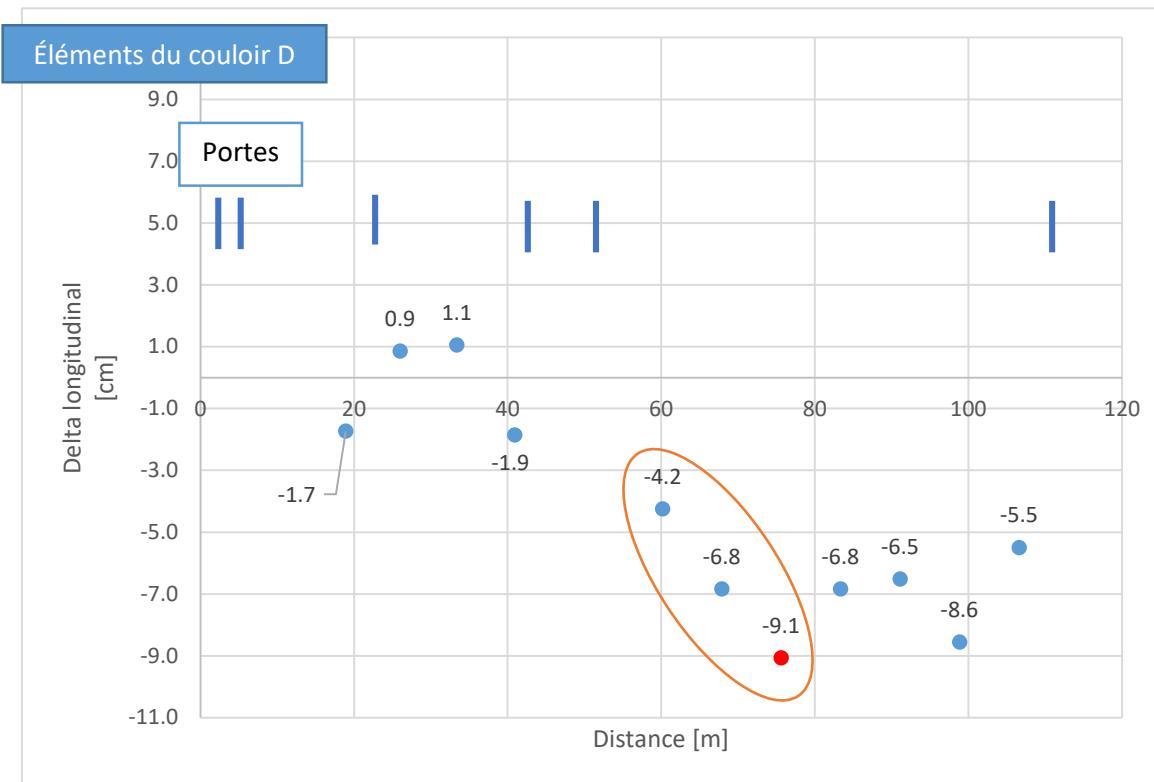
N°	Δ longitudinal [cm]	Δ latéral [cm]	ΔH [cm]
1	-3	2	1
2	-2	-2	-1
3	-2	-1	0
4	1	1	0
5	3	2	-1
6	3	2	1

Par cette étape, il est possible de dire que le centre des sphères détectées dans 3DR fonctionne. Même si le bruit de mesures lors de la détection (cf. chapitre 6.1.2) est d'environ 5cm, la détermination de son centre est de l'ordre de 1 à 3cm en fixant le diamètre. Le géoréférencement du couloir acquis avec le Heron est correct. Le détail du géoréférencement au Faro focus se trouve en annexe (cf. annexe N_6_2).

6.2.3 Dérive du Heron AC-1

cf. annexe N_6_2_3

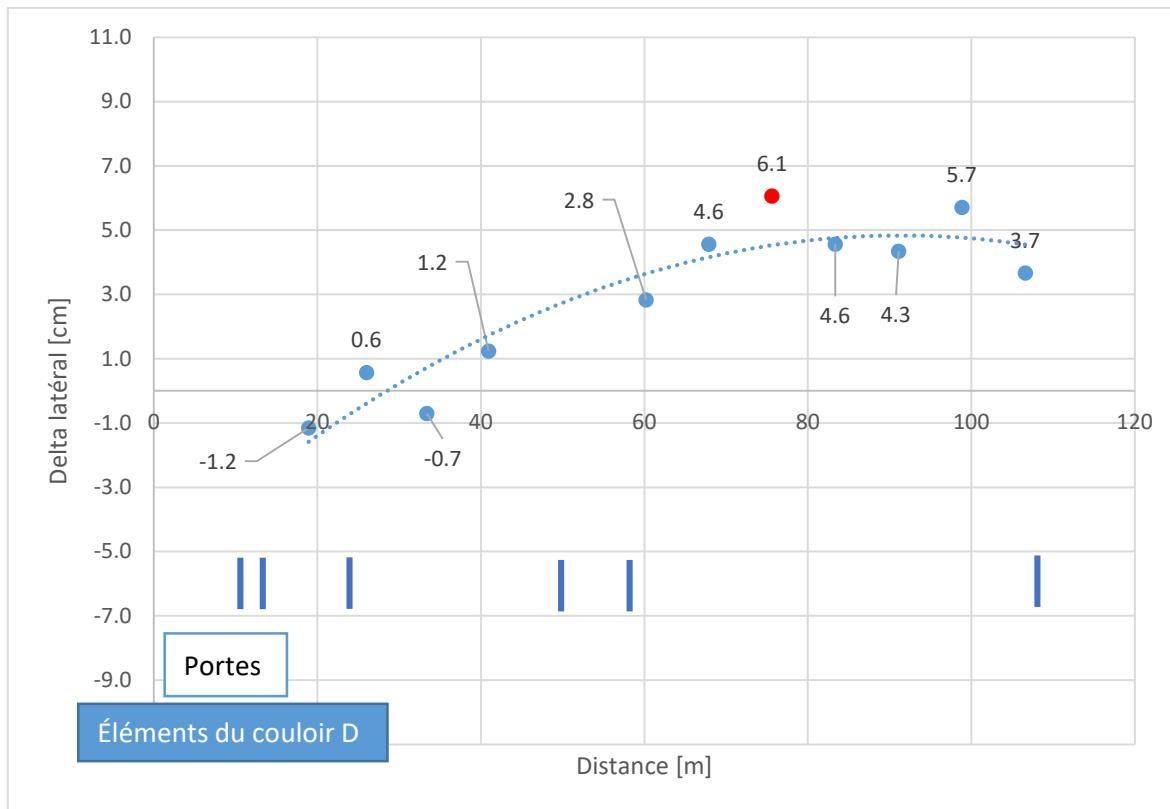
Les écarts longitudinaux et latéraux du centre des poteaux (cylindres) du couloir D entre les mesures du Faro focus (valeur DOIT) et les mesures du Heron AC-1 (valeur AVOIR) sont présentés dans les deux graphiques ci-dessous (cf. graphique 1 et 2). La valeur du 0 en distance se trouve sur la sphère n°1. Pour l'altimétrie, ce sont des portions des nuages devant chaque poteau qui ont été sélectionnées pour faire la comparaison (cf. graphique 3). Pour chaque partie du nuage, la verticale a été fixée dans le logiciel 3DR. Les écarts représentés sur les graphiques sont le résultat du calcul : valeur DOIT - valeur AVOIR.



Graphique 1 : Ecarts longitudinaux du centre des poteaux du couloir de l'étage D entre les mesures du Faro et du Heron

Analyse :

- 1) La valeur extrême est de -9.1cm et se trouve à 75m (environ au milieu de l'acquisition)
- 2) Les trois valeurs entourées présentent une dérive linéaire négative (couloir plus long)
- 3) Un décalage négatif est constaté dans la nouvelle aile du bâtiment (de 70m à 110m)



Graphique 2 : Ecarts latéraux du centre des poteaux du couloir de l'étage D entre les mesures du Faro et du Heron

Analyse :

- 1) Une dérive positive est constatée (couloir dérive à droite), la ligne en traitillé représente une courbe de tendance polynomiale.
- 4) La valeur extrême est de 6.1cm et se trouve à 75m (environ milieu de l'acquisition).
- 5) Une tendance linéaire des valeurs -0.7 à 6.1 est constatée.
- 6) Un décalage positif est constaté dans la nouvelle aile du bâtiment (de 70m à 110m).

Synthèse des résultats en planimétrie :

Cette représentation est schématique pour comprendre la dérive du couloir (ne pas confondre avec les « Local Maps »). On peut également soulever que le passage à travers le palier d'une porte peut créer des décalages.

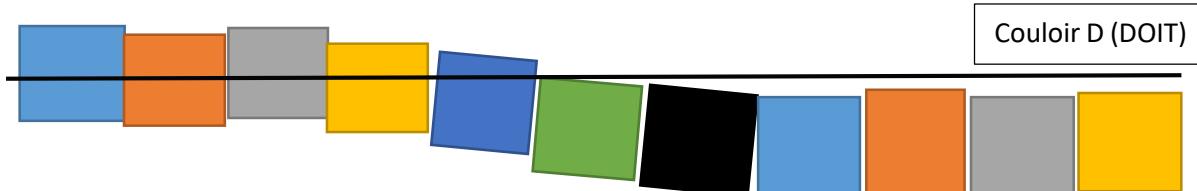
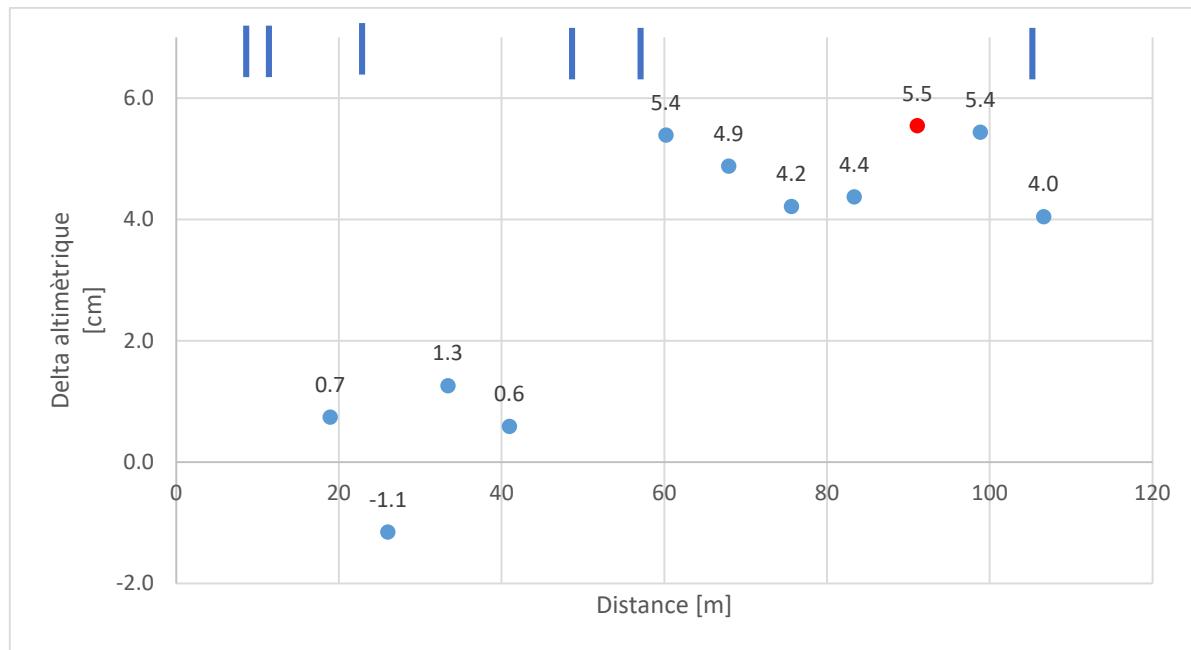


Figure 18 : Croquis de la dérive planimétrique du couloir en fonction des résultats



Graphique 3 : Ecarts altimétriques d'une portion des nuages devant chaque poteau du couloir de l'étage D entre des mesures au Faro et du Heron

Analyse :

- 1) L'ensemble du couloir acquis avec le Heron AC-1 est trop bas.
- 2) Lors du passage des portes au milieu du couloir un saut altimétrique est visible.

Synthèse des résultats en planimétrie :

Cette représentation est schématique pour comprendre la dérive du couloir D (ne pas confondre avec les « Local Maps »).

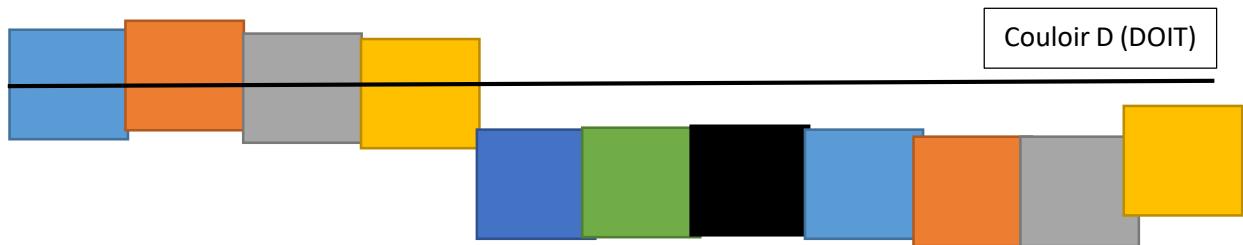


Figure 19 : Croquis de la dérive altimétrique du couloir en fonction des résultats

En conclusion, une certaine dérive et un décalage sont constatés au niveau des portes du milieu du couloir. Par contre, il n'est pas possible de dire si cette dérive provient de recalages des « Local Maps » entre eux, ou de l'algorithme SLAM lors de l'acquisition. De manière générale, l'acquisition après traitement est de l'ordre de 5cm.

6.3 MODÉLISATION D'OBJET

cf. annexe 6_3

Dans le logiciel 3DR, les objets suivants ont été modélisés :

- Escaliers
- Ouverture de portes

Le but de ce test est d'observer le niveau de détails du nuage du Heron et quelles sont les informations que l'on peut en retirer.

6.3.1 Modélisation d'une ouverture de porte

Voici un tableau qui met en relation la largeur de la porte DOIT (mesuré au double-mètre) et la valeur mesurée sur le nuage de points. Le nuage (figure 20) est issu d'une seule « Local Maps » du jeu de mesures T1.

Tableau 18 : Comparaison de la largeur d'une porte entre une mesure au double-mètre et des mesures sur le nuage de points d'une « Local Maps »

Hauteur	Mesures DOIT [cm]	Mesures AVOIR [cm]	Δ [cm]
H1	108	110	-1
H2	108	107	2
H3	108	106	1
H4	108	109	2

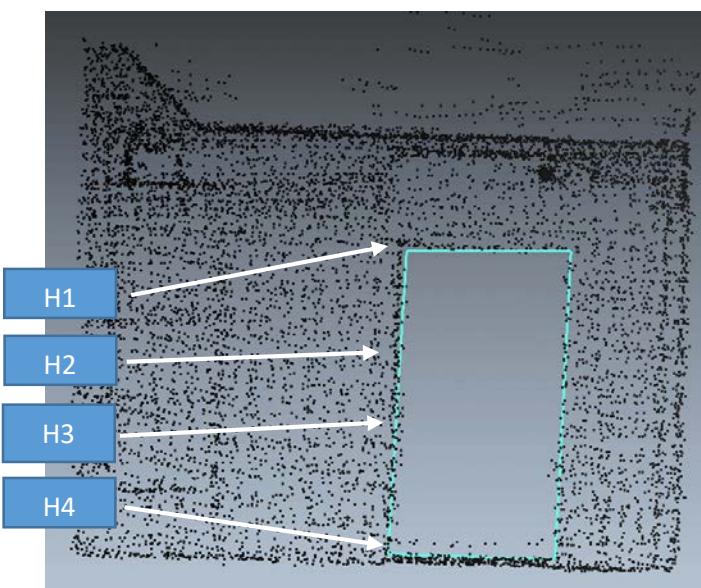


Figure 20 : Illustration des hauteurs sur un nuage de points du Heron AC-1

L'ouverture de la porte est identifiable. Le bruit de mesures permet de modéliser l'ouverture de la porte avec une précision de 2 cm, ce qui correspond à la précision d'une « Local Maps » donnée par le constructeur (cf. chapitre 3.1.9).

De plus, la comparaison a également été effectuée sur les 6 portes du trajet T2, qui comporte plusieurs « Local Maps ». Le tableau ci-dessous présente la moyenne et l'écart-type selon les hauteurs de la porte. La précision est de l'ordre de 5cm.

Tableau 19 : Comparaison de largeurs des portes entre des mesures au double-mètre et des mesures sur le nuage de points de plusieurs « Local Maps » du Heron AC-1

Hauteur	Moyenne des largeurs [cm]	Ecart-type des largeurs [cm]
H1	3	5
H2	4	3
H3	5	3
H4	1	4

6.3.2 Modélisation d'escaliers

Le bruit de mesure sur un escalier est d'environ 5 cm (figure21). La modélisation dans 3DR est possible (figure 22), mais le bruit de mesures ne permet pas un résultat très précis. Il sera de l'ordre de 3 cm. La modélisation a aussi été essayée à la main (au clic). Le test n'est pas très concluant. D'autre part, nous pouvons clairement identifier le nombre de marches, donc la modélisation peut se faire de manière précise en les comptant.

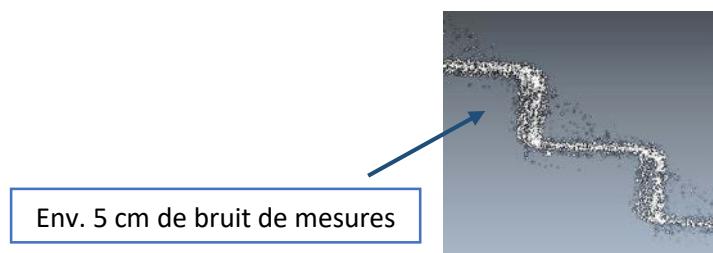


Figure 21 : Coupe d'un escalier dans un nuage du Heron AC-1

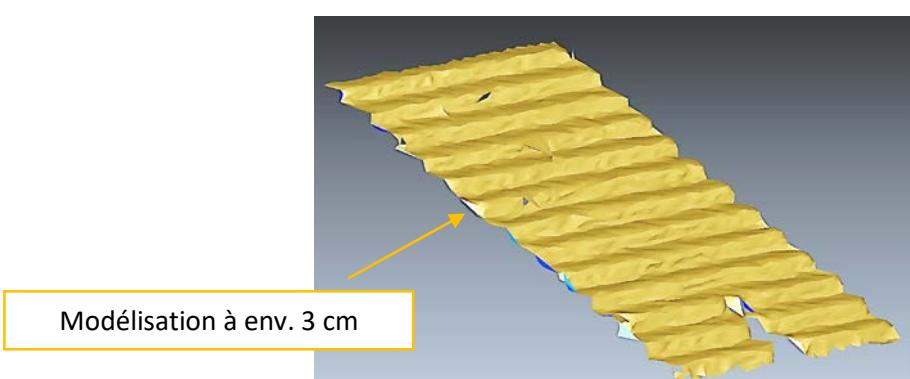


Figure 22 : Modélisation dans le logiciel 3DR

6.4 PRÉCISION ABSOLUE

cf. annexe 6_4

Pour l'analyse de la précision absolue du système, l'ensemble du parcours T1 a été sélectionné. Ce trajet a été effectué une fois en montant (aller : D01-K) et une fois en descendant (retour : étage K-D01). Le terme de précision absolue pose la question suivante : « Est-ce que les éléments qui composent le nuage de points acquis avec le Heron se trouvent au bon endroit ? » Les mesures de bases ont été effectuées avec le Faro Focus pour la détermination de l'emplacement vrai des objets (valeur DOIT). Les éléments de comparaison sont le centre des sphères.

6.4.1 Géoréférencement

cf. annexe N_6_4_1

Le géoréférencement des données du Faro a été effectué par la méthode « STOP AND SCAN ». Pour les données du Heron, 3 sphères de la salle D01 et 3 sphères de l'étage K ont été fixées.

Tableau 20 : Ecart du géoréférencement des données du HERON AC-1 (à gauche, trajet aller / à droite, trajet retour)

N° point	Ecart trajet « aller »			Ecart trajet « retour »			Informations
	ΔE [cm]	ΔN [cm]	ΔH [cm]	ΔE [cm]	ΔN [cm]	ΔH [cm]	
91241	5	0	-5	13	-3	2	Salle D01
91222	4	-2	5	13	-3	15	
91911	5	-1	4	15	-1	3	
97301	0	2	-8	-17	3	-6	Étage K
97302	-7	-3	-5	-14	4	-7	
97303	-14	2	5	-13	2	-8	

Dans les deux cas, le géoréférencement fonctionne moins bien que celui vu dans le test de la dérive intérieur (cf. chapitre 6.2.3). L'environnement est plus complexe et plus long. Le parcours comprend 6 escaliers. La précision relative est donc moins bonne (cf. chapitre 6.1.2.2). De manière générale, le géoréférencement est de l'ordre du décimètre. Les écarts nord sont meilleurs que ceux de l'est et en altimétrie.

6.4.2 Ecarts sur les sphères

Suite au géoréférencement, les coordonnées du centre des sphères seront les premiers éléments de comparaison. Les écarts entre les coordonnées du centre des sphères issues de l'acquisition au Faro, du réseau de l'école (avec les corrections altimétriques) et le centre des sphères issues du nuage de points du Heron ont été calculés.

Tableau 21 : Ecart du centre des sphères des données du HERON AC-1 (à gauche, trajet aller / à droite, trajet retour) du trajet T1 avec celle du Faro et du réseau de l'école

N° point	Ecart trajet « aller »			Ecart trajet « retour »			Etages
	ΔE [cm]	ΔN [cm]	ΔH [cm]	ΔE [cm]	ΔN [cm]	ΔH [cm]	
92103	14	24	-57	15	2	-52	E
93902	-3	23	-25	6	-2	-14	F
94901	5	22	-21	4	1	-14	G
94902	-9	19	-16	4	-3	-10	G
95301	26	9	-35	-5	0	-14	H
95302	6	16	-21	-3	-1	-13	
95303	-6	17	-11	-4	-3	-12	

Trajet « aller » : Les écarts sont ne sont pas linéaires et ne sont pas toujours dans le même sens. En ce qui concerne les écarts nord, ils sont positifs et compris entre 5 et 25cm. On ne peut pas constater de linéarité non plus. Pour l'altimétrie, toutes les sphères sont trop basses et l'ensemble du nuage est décalé (env. 30cm) et trop bas. On a l'impression que le nuage est compacté en altimétrie et comporte une rotation.

Trajet « retour » : Les écarts sont paraissent cohérents selon l'avancement. Le recalage dans la direction nord est plutôt bon. En altimétrie, les écarts sont très similaires au trajet « aller », la rotation de l'ensemble du nuage parait moins importante.

6.4.3 Ecarts sur certains éléments

Quelques éléments sur le nuage du Heron ont été sélectionnés pour imager les écarts après le géoréférencement par rapport à celui du Faros Focus. On constate la rotation sur le sol du hall de l'étage E.



Figure 23 : Rotation du sol de l'étage E du nuage acquis avec le Heron par rapport à celui du Faro

Le décalage planimétrique est bien visible sur un pilier de l'étage E. On constate également le bruit de mesures qui est de l'ordre de 5cm sur le nuage du Heron.

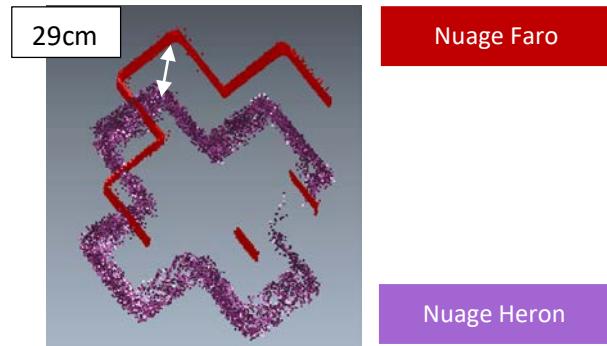


Figure 24 : Décalage planimétrique sur un pilier de l'étage E du nuage acquis avec le Heron par rapport à celui du Faro

La différence altimétrique est visible sur l'escalier de l'étage F.

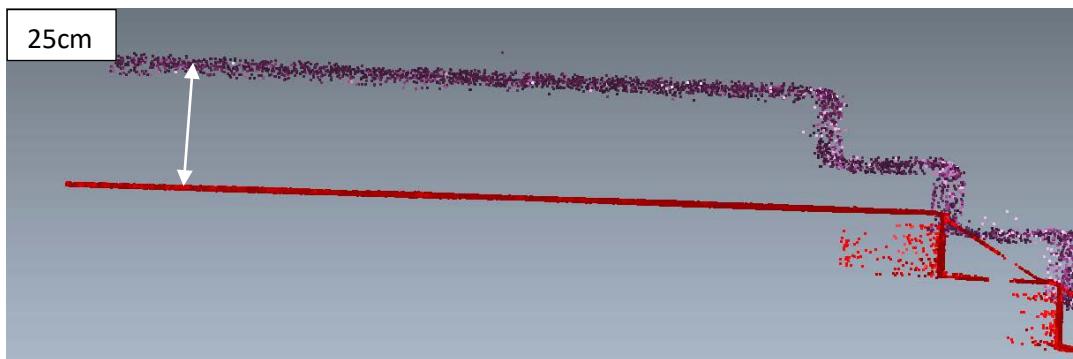


Figure 25 : Décalage altimétrique sur l'escalier de l'étage F du nuage acquis avec le Heron par rapport à celui du Faro

6.4.4 Résultats

Au final, il est difficile de comprendre les écarts de ce jeu de mesures. Le recalage des « Local Maps » créé par le Heron est cohérent (aucun décalage visuel), mais les deltas est et nord sont tout de même importants ($>10\text{cm}$). A mon avis, les écarts altimétriques sont créés à l'intérieur des « Local Maps » lors de l'assemblage par l'algorithme SLAM. La précision absolue pour ce jeu de mesures est donc de l'ordre du décimètre.

7 TESTS EXTÉRIEURS

7.1 FONCTIONNEMENT EXTÉRIEUR « LIVE »

Les trajets extérieurs selon leur environnement et leurs résultats lors de l'acquisition sont résumés dans le tableau ci-dessous. Le résultat a directement été constaté sur la tablette lors des mesures.

Tableau 22 : Synthèse des trajets qui fonctionnent ou qui ne fonctionnent pas à l'extérieur lors de l'acquisition « live »

N°	Trajet (emplacement)	Résultats	Interprétation personnelle
T4	Champs	Non-concluant	Manque d'éléments structurants pour l'algorithme SLAM
T5	Champ au départ d'un pilier	Non-concluant	
T6	Champ avec arbre (h = 5-6m)	Non-concluant	
T7	Escalier en colimaçon extérieur	Non-concluant	
T8	Champ au départ d'une place goudronnée	Ok au début ensuite non-concluant	
T9	Champ au départ du bord d'un bâtiment	Ok au début ensuite non-concluant	
T10	Bord d'un bâtiment	Concluant	Eléments structurants assez nombreux pour l'algorithme SLAM
T11	Cours de la HEIG-VD	Concluant	
T12	Champ hautes herbes et arbre	Concluant	
T13	Chemin goudronnée + forêt	Concluant	
T14	Forêt	Concluant	

7.2 PARCOURS OPTIMAL

cf. annexe N_7_2

La cour de l'école (cf. trajet T11) a été acquise avec le Heron selon 4 parcours différents.

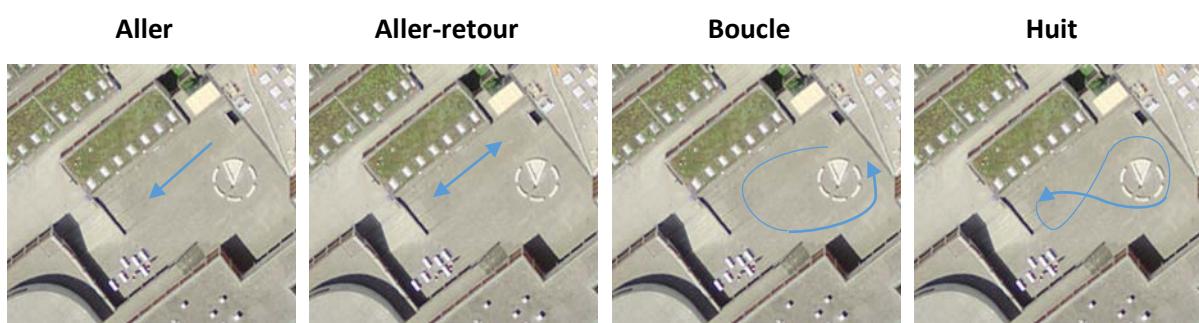


Figure 26 : Parcours effectués avec le HERON AC-1 dans la cour extérieure de la HEIG-VD¹³

Le but de ce test est de définir quel est le chemin optimal pour relever cette cour avec le Heron. Pour ce faire, des comparaisons de distances sont effectuées. Les distances (DOIT) ont été calculées avec les points du réseau de l'école (en orange) et avec des points levés au GNSS (en bleu). Les distances

¹³ Source <https://map.geo.admin.ch> [consulté le 17.07.2017]

(AVOIR) ont été mesurées dans le nuage de points à l'aide du logiciel 3DR. Les flèches vertes représentent l'ensemble des distances 3D comparées.

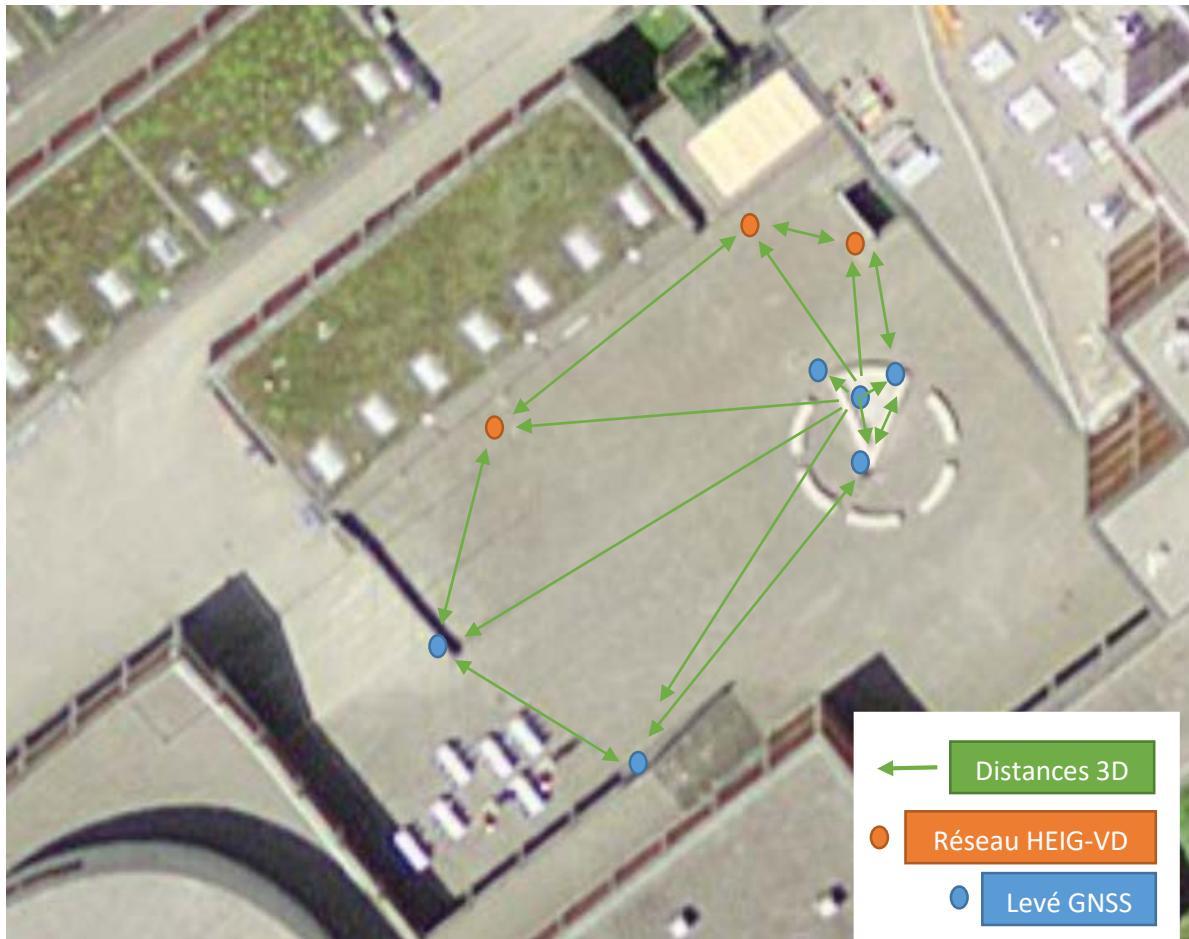


Figure 27 : Croquis des points utilisés pour la comparaison des distances relatives des trajets au Heron dans la cour de la HEIG-VD

Voici une synthèse des écarts entre les distances 3D DOIT et AVOIR selon les différents trajets.

Tableau 23 : Moyenne, écart-type et écart maximal des écarts entre les distance DOIT et AVOIR selon les parcours effectués

Trajets	Aller	Aller-Retour	Boucle	Huit
Moyenne [cm]	-1	0	0	0
Ecart-type [cm]	4	8	5	7
Ecart max [cm]	-9	-17	-10	-15

Au final, le trajet « aller » est le meilleur résultat et le plus cohérent. L'écart-type est le plus faible et la valeur de l'écart maximal se trouve sur la distance la plus longue. Comme dans le test des cylindres (cf. chapitre 6.1.1), le trajet « aller » comporte le moins de bruit de mesures, car les endroits modélisés ne possèdent qu'une « Local Maps ». De manière générale, la précision des acquisitions est de l'ordre de 5cm.

7.3 DÉRIVE DU SYSTÈME : FORêt

cf. annexe 7_3

Les données du trajet T13 sont utilisées pour ce test. Le but est de comparer le calage des nuages selon l'avancement du Heron AC-1 dans un environnement qui comporte de la végétation. Le chemin de Champ-Pittet est partiellement goudronné et se trouve entièrement en forêt. Un relevé de base a été effectué avec le MS60 afin de pouvoir mettre en évidence la dérive. Les éléments qui vont permettre de mettre en évidence la dérive sont les coordonnées du centre des sphères.

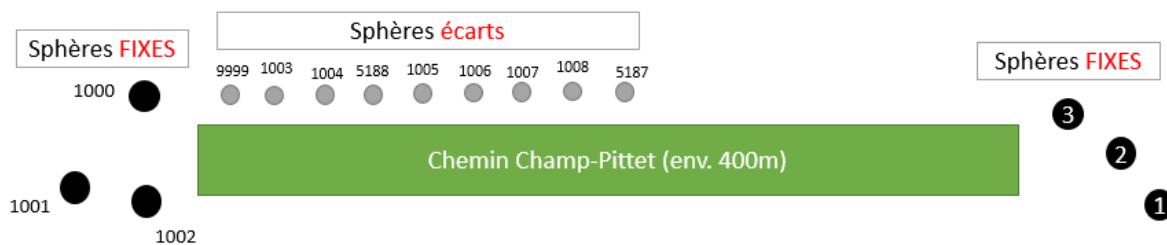


Figure 28 : Croquis des sphères fixées lors du géoréférencement pour l'analyse des écarts de la dérive en forêt

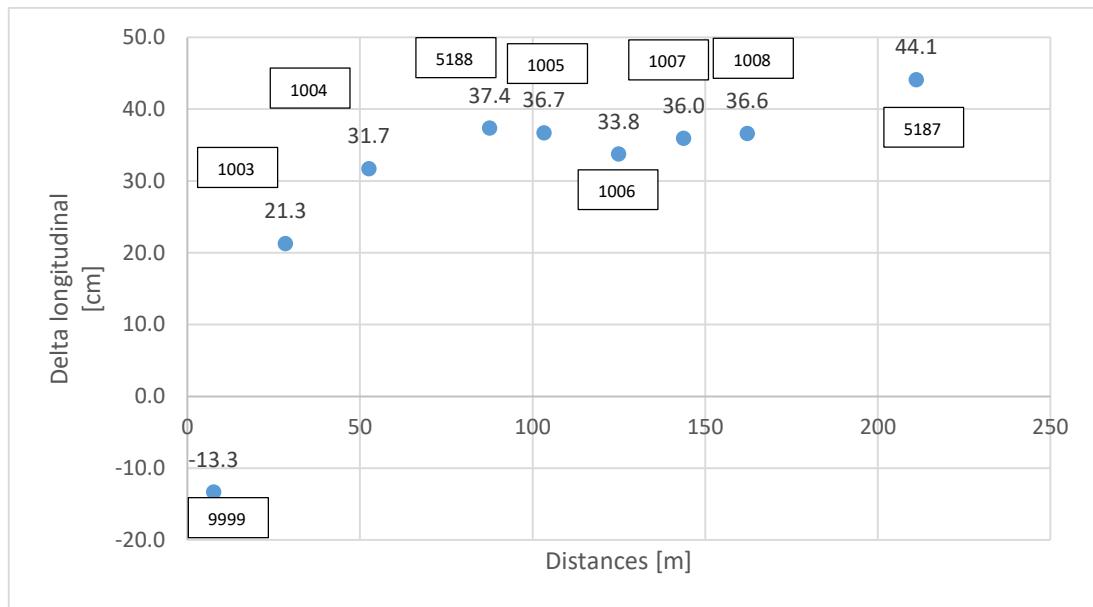
Voici les écarts du géoréférencement de l'ensemble du nuage acquis avec le Heron AC-1 sur les 6 sphères placées aux extrémités.

Tableau 24 : Ecart du géoréférencement sur les 6 sphères aux extrémités du parcours du chemin de Champ-Pittet

N°	Δ longitudinal [cm]	Δ latéral [cm]	ΔH [cm]
1	-12	-9	-7
2	-14	-11	5
3	-13	-10	2
1000	16	12	-4
1002	13	10	5
1003	11	8	-1

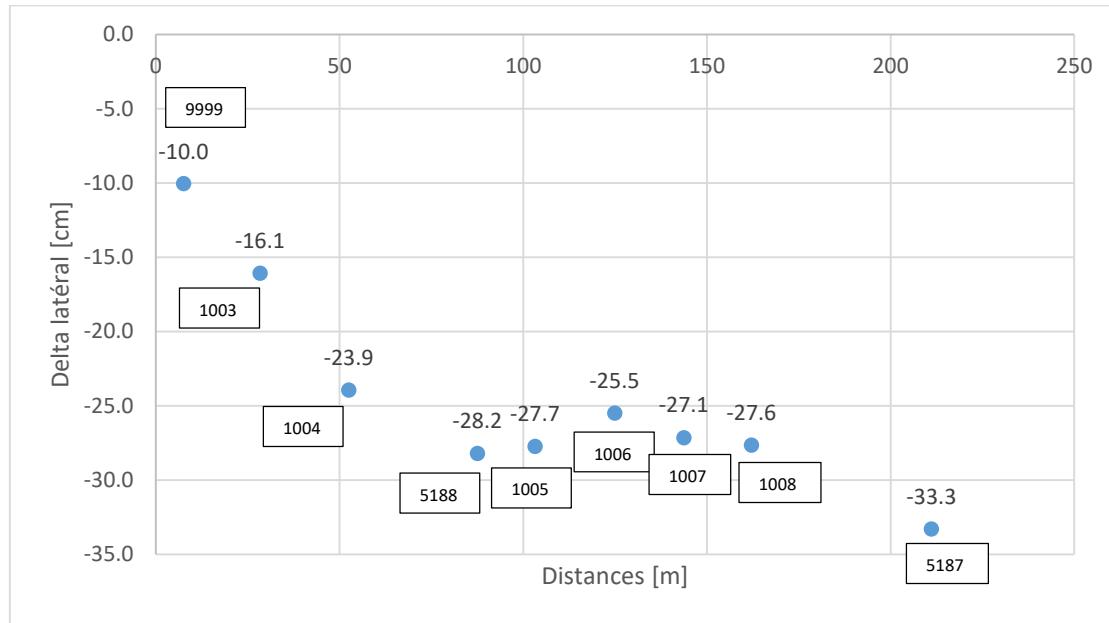
Les écarts du géoréférencement sont selon la direction du chemin. Ils sont de l'ordre du décimètre en planimétrie et d'environ 5cm en altimétrie.

Les écarts longitudinaux, latéraux et altimétriques du centre des sphères selon l'avancement du parcours sur le chemin de Champ-Pittet entre les mesures du MS60 (valeur DOIT) et les mesures du Heron AC-1 (valeur AVOIR) sont présentés dans les trois graphiques ci-dessous. La valeur du 0 en distance se trouve sur le point 1000.



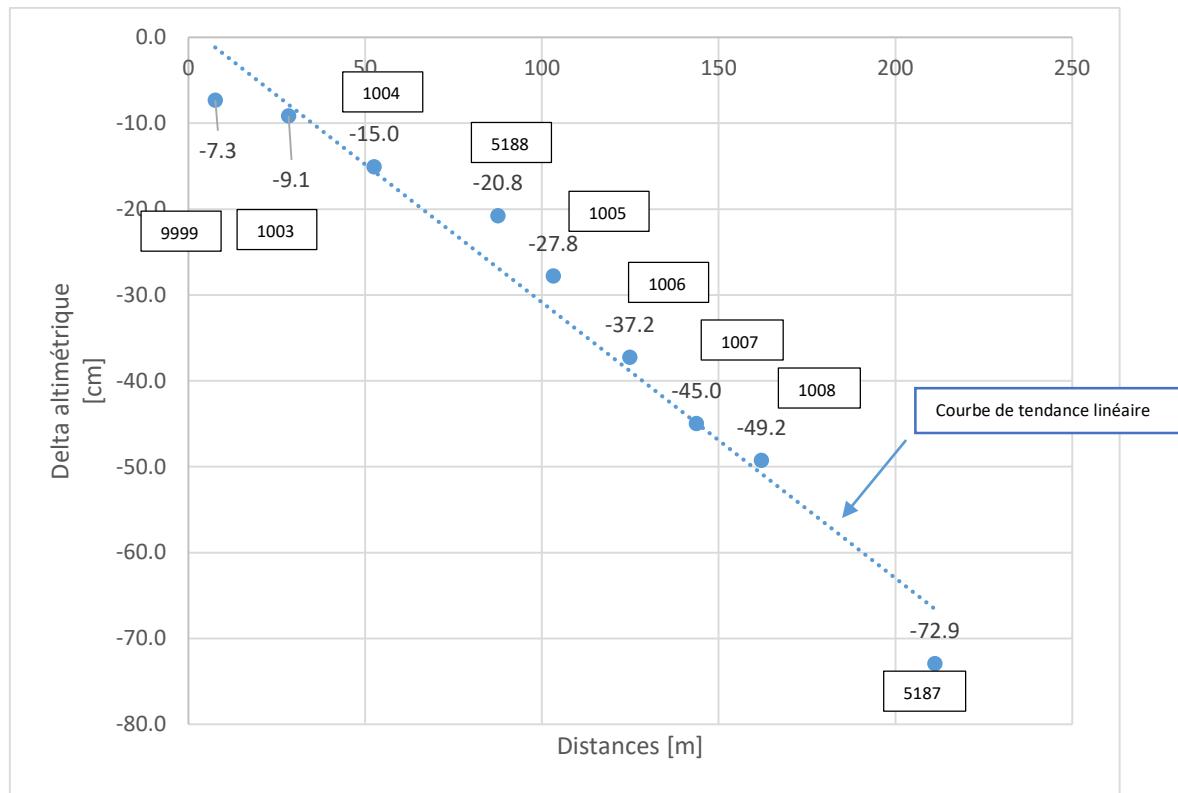
Graphique 4 : Ecarts longitudinaux du centre des sphères du chemin de Champ-Pittet entre les mesures du MS60 et du Heron

Une dérive est constatée au début du trajet entre les points 9999 et 5188. Ensuite un bloc de points de 5188 à 1008 est homogène. La valeur extrême de 44.1 cm se trouve bien au milieu.



Graphique 5 : Ecarts latéraux du centre des sphères du chemin de Champs Pittet entre les mesures du MS60 et du Heron

Comme les écarts longitudinaux, une dérive entre les points 9999 et 5188 est constatée. De plus, le bloc de points entre 5188 et 1008 est homogène. La valeur extrême de -33.3 cm se trouve bien au milieu.



Graphique 6 : Ecarts altimétriques du centre des sphères du chemin de Champs Pittet entre les mesures du MS60 et du Heron

De manière générale, le chemin possède une dérive longitudinale positive, une dérive latérale négative (à gauche) ainsi qu'une dérive altimétrique négative.

8 RELEVÉS DE CORPS DE RUE

Les différents tests (trajets T15 à T18) effectués avec le système du Heron AC-1 à l'aide d'un scooter ont pour but de comprendre si des relevés de corps de rue urbain sont possibles. Par corps de rue urbain, on entend l'ensemble des éléments visibles, tels que :

- Trottoirs
- Fenêtres et portes
- Panneaux de signalisations
- Grilles
- ...



Figure 29 : Système du Heron AC-1 monté en mode sac à dos sur un scooter

Une approche objective des limites du système a été effectuée pour avoir un premier résultat de cette méthode. Les emplacements de trajets ont été choisis en fonction de la largeur de la rue, ainsi que des éléments structurants qui la composent. Dans un premier temps, le trajet T15 (cf. chapitre 8.1) présente un corps de rue étroit (largeur route : 5m), avec des éléments structurants qui permettent un bon fonctionnement de l'algorithme SLAM. Le trajet T16, quant à lui, présente de la végétation avec une rue plus large (6.5m) et des bâtiments plus espacés (cf. chapitre 8.2). Les deux trajets sont des allées secondaires à sens unique, donc avec moins de circulation. Ce choix s'est fait pour des questions de sécurité. D'autre part, une route principale avec une largeur plus conséquente (12m) et un rond-point ont également été sélectionnés pour avoir une idée du fonctionnement général. Les différents trajets extérieurs sont résumés dans les tableaux (cf. tableau 26 et 27) des chapitres suivants (cf. chapitre 8.1 et 8.2) selon deux critères. D'une part, la visualisation des objets dans le nuage de points du Heron, et d'autre part, si ces éléments sont modélisables. Un code couleur a été mis en place pour la représentation des résultats en fonction de ces deux critères (cf. tableau 25). De plus, les acquisitions ont également été effectuées en marchant, ce qui correspond à une vitesse d'environ 5km/h.

Tableau 25 : Code couleur pour la compréhension des résultats du nuage de points du Heron AC-1 acquis avec un scooter selon les critères d'identification et de modélisation des éléments

	Significations	
Couleurs	Identifiable	Modélisable
Vert	Aucun problème à reconnaître l'élément	Aucun problème à modéliser l'élément
Jaune	Elément difficilement reconnaissable	Elément difficilement modélisable
Rouge	Elément que l'on ne reconnaît pas	Elément que l'on ne peut pas modéliser

8.1 CORPS DE RUE ÉTROIT

Un ensemble d'éléments visibles sur ce jeu de mesures (trajet T15) est présenté selon les deux critères cités ci-dessus.

Tableau 26 : Analyses des éléments d'un corps de rue étroit selon leur visibilité et leurs capacités à être modélisés

	Identifiable				Modélisable			
	Marche	10	20	30	Marche	10	20	30
Vitesse [km/h]	Marche	10	20	30	Marche	10	20	30
Dérochements de façades (>20cm)								Yellow
Passages pour piétons								Yellow
Coffrets électriques								Yellow
Trottoirs (env. 10cm)						Yellow	Yellow	Yellow
Fenêtres et portes des bâtiments			Yellow					Red
Marquages			Yellow					Red
Parcomètres			Yellow			Yellow	Yellow	Red
Panneaux de signalisation			Yellow			Yellow	Red	Red
Lampadaires		Yellow	Yellow	Yellow		Red	Red	Red
Grilles d'égouts	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red

Les principales raisons des éléments difficilement reconnaissables et difficilement ou impossible à la modélisation sont (cf. figure 30 et 31) :

- Le bruit de mesures est plus grand que 5cm
- Le doublement des éléments suite au mauvais calage des « Local Maps » provenant de la vitesse de l'acquisition

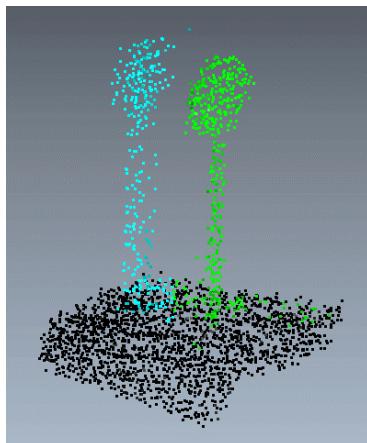


Figure 31 : Exemple d'un panneau de signalisation dans le nuage de points du Heron AC-1 acquis à une vitesse de 30 km/h



Figure 30 : Exemple du marquage d'un cédez le passage dans le nuage de points du Heron AC-1 acquis à une vitesse de 30 km/h

8.2 CORPS DE RUE DENSE

Un ensemble d'éléments visibles sur ce jeu de mesures (trajet T16) est présenté selon les deux critères cités ci-dessus (cf. tableau 25). Dans le cadre de cette rue, les vitesses de 40 km/h et 50 km/h ont pu être testées, car la limitation le permettait.



Figure 32 : Pilier d'évitement pour ralentir le trafic le long de la rue

Tableau 27 : Analyses des éléments d'un corps de rue dense selon leur visibilité et leurs capacités à être modélisés

Vitesse [km/h]	Identifiable						Modélisable					
	Marche	10	20	30	40	50	Marche	10	20	30	40	50
Passages pour piétons	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
Balcon	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
Marquages	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red
Pilier d'évitement	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
Panneaux de signalisation	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
Lampadaires	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
Fenêtres et portes des bâtiments	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red
Trottoirs (env. 10cm)	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red
Grilles d'égouts	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red

Les causes des éléments difficilement visibles ou modélisables sont les mêmes que cités précédemment (cf. chapitre 8.1) De manière générale, la hauteur des acquisitions des trajets T15 et T16 sont d'environ 15m. Cette valeur est directement liée aux champs de vision du Velodyne -32E et de la distance des façades qui composent le corps de rue.

8.3 ROUTE PRINCIPALE

Le trajet (cf. trajet T17) acquis sur la route principale permet de relever les informations suivantes :

- Bon fonctionnement de l'acquisition avec un recalage des « Local Maps » visuellement correct
- Les éléments cités au chapitre ci-dessus sont visibles, mais difficilement modélisables, car l'acquisition a été prise à environ 30km/h
- Possibilité de faire du comptage de voitures, de bancs, de panneaux, de parcomètres, etc.

8.4 ROND-POINT

L'acquisition du rond-point (cf. trajet T18) permet de relever les informations suivantes :

- L'acquisition fonctionne correctement, la géométrie du rond-point est conservée. Deux cercles ont été dessinés pour vérifier le recalage des « Local Maps ». Aucun décalage n'est visible (cf. figure 33)
- Visualisation et modélisation de tous les éléments cités ci-dessus (cf. chapitre 8.1 et 8.2) à une vitesse de 10 km/h sont possibles



Figure 34 : Orthophoto du rond-point de la rue du Burron¹⁴

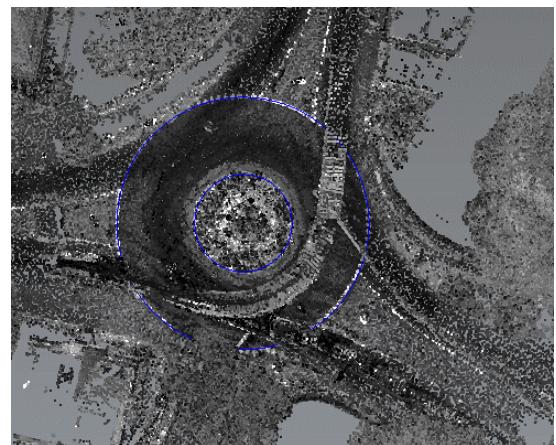


Figure 33 : Nuage de points issu du logiciel 3DR du rond-point de la rue du Burron avec contrôles géométriques

8.5 ANALYSE DE LA VITESSE

8.5.1 Vitesse maximale

Suite aux différents tests effectués, les vitesses de 40 et 50 km/h ne permettent pas un résultat intéressant. L'ensemble des éléments que composent les corps de rue sont difficilement visibles et impossibles à la modélisable. La vitesse maximale pour le système du Heron Ac-1 monté en scooter pour avoir une visualisation correcte des éléments est d'environ 30km/h.

8.5.2 Vitesse optimale

On constate que le niveau de détail du nuage acquis diminue en fonction de la vitesse. La meilleure solution est celle réalisée à pied, même si celle à 10km/h présente un résultat analogue.

¹⁴ Source : <https://map.geo.admin.ch> [consulté le 21.07.2017]

9 DIFFICULTÉS ET PROBLÉMATIQUES

9.1 DIFFICULTÉS

9.1.1 Compréhension du travail

Au départ du travail, il a été difficile pour moi de comprendre que je ne pourrais pas atteindre des précisions de l'ordre du centimètre ou du millimètre. Le côté « géomètre » a rapidement dû être mis de côté et ce n'était pas tâche facile. De plus, les termes de précision relative et absolue n'ont pas été faciles à assimiler. La prise en main des différents logiciels n'a pas été évidente : savoir quelle information est utilisée à quel moment et quels paramètres sont importants lors des différents processus de traitement.

9.1.2 Organisation

Du point de vue organisationnelle, l'ensemble des tests ont été acquis sur une semaine (sauf le trajet T13 : dérive en forêt) ce qui n'est pas habituel pour le test d'une instrumentation. De plus, lors de celle-ci, une blessure temporaire a rendu les déplacements avec le Heron AC-1 difficile. Les tests planifiés à l'avance ont tout de même tous pu être réalisés. D'autre part, la licence du logiciel Heron Desktop n'a pas été disponible du 6 au 14 juillet 2017 ; le traitement des acquisitions du Heron AC-1 n'a donc pas pu être effectué durant cette période.

9.2 PROBLÉMATIQUES

Durant toute la durée du travail, plusieurs problématiques ont été rencontrées, en voici deux qui valent la peine d'être soulevées.

La première est la capacité de pouvoir traiter des nuages de points de tailles importantes. A partir d'une durée d'acquisition de plusieurs minutes avec le Heron AC-1 les traitements dans le logiciel JRC 3D Reconstructor ou 3DReshaper sont fortement ralenti. Les scans au Faro de plusieurs giga ont été la plus grande source d'ennuie. Pour ce faire, une carte graphique plus puissante et un disque dur de plus grande capacité (1 téra) ont été installés. Lors du traitement des nuages de points (nettoyage, détection de meilleures formes), le processeur était pratiquement tout le temps à sa capacité maximale.

Deuxièmement, si le modèle (nuage de points) à exporter depuis le logiciel JRC 3D se trouve à des coordonnées trop élevées (plus de 100 km), il ne l'exportera pas dans les coordonnées désirées ou alors l'export ne sera pas possible, en raison des limitations du format PLY. Les coordonnées suisse dans le cadre de référence MN95 sont de un million, deux millions, donc l'export ne sera pas possible.

10 PERSPECTIVES

10.1 EXPÉRIMENTATIONS

Comme évoqué dans les généralités du Heron AC-1, le système ne fonctionne qu'en relatif. Durant la période où le travail a été effectué, la firme Gexcel a mis au point un outil pour mesurer des points connus en coordonnées lors des acquisitions. Cet outil se nomme « Point Picker ». Une pièce supplémentaire est alors nécessaire pour la bonne utilisation : le « Monopod » (cf. figure 36¹⁵). Par l'étape d'étalonnage dans le logiciel d'acquisition (Heron Live), il est alors possible d'enregistrer les coordonnées de points de références. Des mouvements relatifs (cf. figure 35), d'abord en forme de croix, ensuite en forme de cercle doivent être effectués avec le Heron. En gardant la pointe du Monopod sur le point, cela permet alors le géoréferencement du nuage de points. Cet outil n'a pas été testé, mais il serait intéressant d'expérimenter les précisions de cette méthode.



Figure 36 : Pièce nommée Monopod, pour l'utilisation de l'outil « Point Picker » du Heron AC-1. Il est utile lors de la mesure d'un point connu en coordonnées pour le géoréferencement du système¹⁵

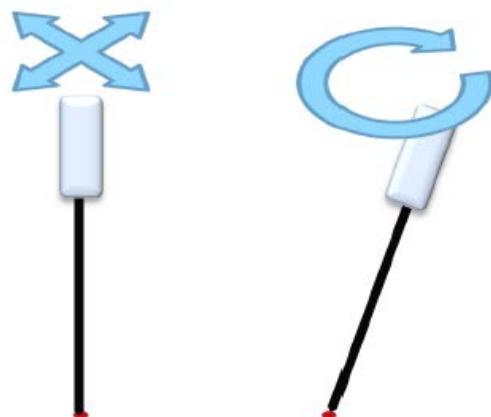


Figure 35 : Mouvement relatif pour la mesure d'un point avec le Heron AC-1 et l'outil « Point Picker »¹⁵

D'autre part, comme les résultats du test en absolu présentent des chiffres qui sont difficilement compréhensibles (cf. chapitre 6.4) et en relation avec la qualité de la station inertuelle (IMU) qui n'est pas de bonne qualité d'après les informations du constructeur, il serait intéressant de faire des tests en altimétrie uniquement. De plus, les acquisitions dans les escaliers comportent certaines fois des rotations (cf. annexe 3_1_1), il serait convenable de mettre en place un banc de test qui permet l'analyse de la dérive altimétrique et de la rotation. L'escalier idéal (cf. figure 37) devrait comporter des paliers pour mettre en valeur la rotation, et être assez long pour identifier une dérive altimétrique.

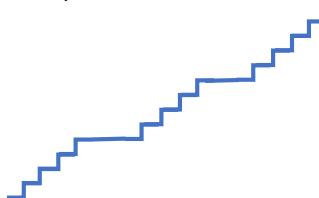


Figure 37 : Escalier type idéal pour tester la dérive et la rotation du système du Heron en altimétrie

¹⁵ Source : Manuel du logiciel Heron (cf. annexe N_3_1_1)

La divergence du faisceau du Velodyne HDL -32^E est surprenante (cf. chapitre 6.1.4). Au départ de ce travail, un test était prévu pour une appréciation objective de la précision de celui-ci. Pour ce faire, une boîte (cf. figure 38) comportant des trous de plusieurs grandeurs (2, 5, 10, 15, 20cm) et de formes différentes (carré, rectangle, rond) aurait été créée. Les acquisitions auraient été faites à des distances différentes (2, 5, 10, 15m) pour analyser la précision du faisceau. Le résultat présenterait la capacité à détecter les trous en fonction de la distance d'acquisition.

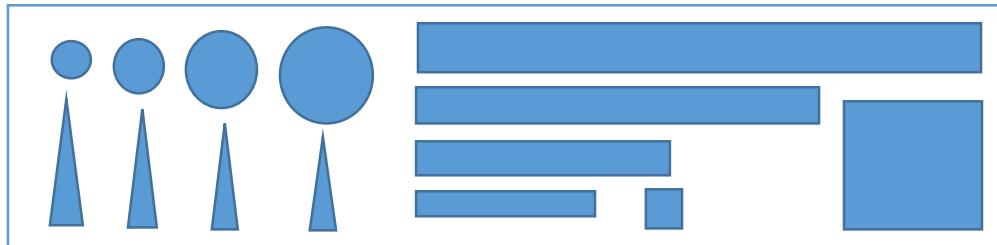


Figure 38 : Exemple d'une boîte avec des trous de tailles et de formes différentes pour l'analyse du faisceau du Velodyne HDL -32E

Comme le mode d'emploi du Heron n'existe pas encore lors de la semaine d'acquisition, un essai a été effectué en mode « tracking » (cf. chapitre 3.1.4), mais il n'a pas été concluant. L'expérimentation des limites de ce mode pourraient faire l'objet de quelques tests supplémentaires.

10.2 DÉVELOPPEMENTS

Actuellement, les données sont visualisables en temps réel sur une tablette. Selon l'utilisation et le type de personnes qui exploitent le Heron AC-1, est-ce qu'il serait pertinent de développer un branchement sur un smartphone avec une interface simplifiée pour l'acquisition ? L'avantage serait d'avoir un produit moins cher et une utilisation du système encore plus simple.

Dans le domaine d'application des systèmes scanners mobiles, un nouveau type de géodonnées est en étude à la FHNW (Fachhochschule Nordwestschweiz ou Haute école du Nord-Ouest Suisse). Le principe est de créer des images 3D géoréférencées. Chaque pixels comportent une indication de la distance en fonction de la prise (cf. figure 39), donc des mesures relatives et absolues, ainsi, la modélisation est possible directement depuis l'image.

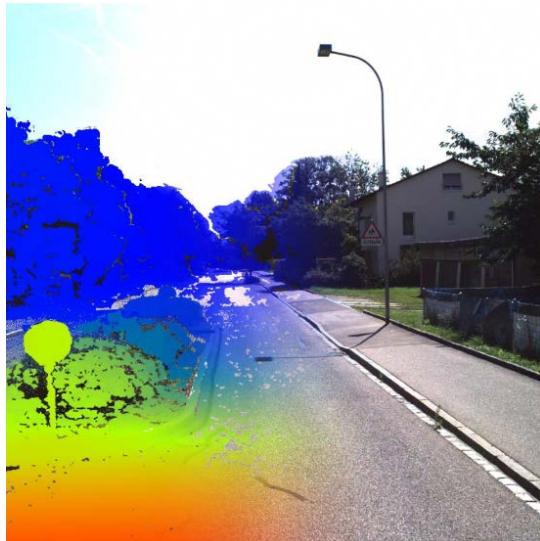


Figure 39 : Image 3D géoréférencées avec une coloration du pixel en fonction de la distance¹⁶

Pour la création d'un produit de ce type il faut :

- Une caméra
- Un système de positionnement absolu (géoréférencement des images)
- Un nuage de point (assurer la profondeur de l'information dans l'image)

D'après les informations de l'entreprise Gexcel, une caméra sera disponible sur le Heron AC-1 à partir de septembre 2017. Donc, Tous les éléments seront présents pour la création d'une image 3D géoréférencée. Je ne connais pas les détails de cette technologie ni du produit, mais je pense que c'est un secteur qui serait avantageux et attrayant sur le marché actuel. Le résultat permettrait une interprétation plus intuitive que sur un nuage de points.

De plus, le développement du BIM dans le cadre des rénovations et des grands chantiers est de plus en plus fréquent dans le monde de l'architecture. Est-ce que les précisions seraient suffisantes pour ce type d'utilisation ? Dans la même idée mais en extérieur, l'analyse de la précision absolue du système pourrait peut-être répondre à des besoins du domaine de la mensuration officielle ?

¹⁶ Source : http://www.3dgi.ch/3dgi2017/files/3dgi2017_session_2-1_nebiker_FR.pdf [consulté le 24.07.2017]

11 CONCLUSION

Le Heron AC-1 est un scanner laser portable qui est facile d'utilisation et peut-être utilisé par tout en chaque un. Lors des différentes acquisitions, le passage d'environnements comportant des changements de structures importants peut être faussé (cf. chapitre 6.2.3), comme par exemple, en haut d'un escalier ou lors du passage d'un palier de porte. En extérieur, dans la majeure partie des cas où l'entourage comporte des éléments structurants, le système fonctionne, a contrario, dans les champs le Heron ne sont pas possibles à l'acquisition. De plus, de manière générale, un simple trajet « aller » présente les meilleurs résultats.

En ce qui concerne la précision relative, le nuage comporte un bruit de mesures d'environ 5 cm. Les éléments plus petits sont donc difficilement visibles dans le nuage. De manière général, il est n'est pas possible de comprendre ce qui se passe vraiment lors de l'acquisition, ni lors de la création des « Local Maps », ou encore lors de l'étape d'optimisation.

De plus, une dérive intérieure de l'ordre de 5cm à environ 80m, et en extérieur de 40cm en planimétrie et de 70cm en altimétrie à 200m a été constatée avec des trajets rectilignes.

La méthode d'acquisition à l'aide d'un scooter présente des résultats cohérents, la visualisation d'objet que comporte un corps de rue sont visibles, mais difficilement modélisables en fonction de la vitesse. La méthode d'acquisition en mode « walking » ou autrement dit en mode « marche » reste tout de même la meilleure.

Finalement, l'ensemble des expérimentations permettent une bonne compréhension du fonctionnement du Heron AC-1, avec une approche objective des précisions intérieures et extérieures, et une première évaluation de la méthode d'acquisition avec un scooter.

12 BIBLIOGRAPHIE

Par ordre alphabétique :

- FARO. (2017). *Apérçu*. Consulté le Juin 2017, 2017, sur <http://www.faro.com/fr-fr/produits/releve-3d/scanner-laser-3d-faro-focus-3d/apercu>
- Gexcel . (2017). *Configuration*. Consulté le Juin 26, 2017, sur <http://www.gexcel.it/en/heron-overview>
- Gexcel. (2016). *Technical specifications*. Consulté le Juin 01, 2017, sur <http://www.gexcel.it/en/solutions/heron>
- Gexcel. (2017). *Fonctionnalités du logiciel*. Consulté le 26 06, 2017, sur <http://www.gexcel.it/en/heron-overview>
- Gexcel. (2017). *JRC 3D Reconstructor*. Consulté le Juin 26, 2017, sur <http://gexcel.it/en/software/jrc-3d-reconstructor>
- Hamzaoui, O. E. (2014). *Localisation et cartographie simultanées pour un robot mobile équipé d'un laser à balayage : CoreSLAM*. Consulté le Juin 1, 2017, sur <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00935600/file/2012ENMP0103.pdf>
- Höflinger, F. (2014). *Lokalisierungssysteme für die Positionsbestimmung von Person und Objekten im Innenraum* (éd. 1, Vol. 17). (D. L. Reindl, Éd.) Freiburg: Department of Microsystems Engineering (IMTEK). Référence: ISBN 978-3-86247-445-5 publié le 24.03.2014
- Leica. (2016). *Antenne GNSS intelligente - Leica Viva GS14*. Consulté le Juin 26, 2017, sur <http://leica-geosystems.com/fr-fr/products/gnss-systems/smart-antennas/leica-viva-gs14>
- Leica. (2016). *Leica Nova MS60 – La première MultiStation autonome au monde*. Consulté le Juin 26, 2017, sur <http://leica-geosystems.com/fr-fr/products/total-stations/multistation/leica-nova-ms60>
- Leica. (2017). *Leica Pegasus Backpack*. Consulté le Juin 23, 2017, sur <http://leica-geosystems.com/fr-fr/products/mobile-sensor-platforms/capture-platforms/leica-pegasus-backpack>
- Lidar, V. (s.d.). *HDL-32E*. Consulté le Juin 1, 2017, sur <http://velodynelidar.com/hdl-32e.html>
- Technodigit. (2017). *3DReshaper*. Consulté le Juin 26, 2017, sur <http://www.3dreshaper.com/fr/>
- Wikipédia. (24 avril 2017). *Réflectivité*. Consulté le Juin 6, 2017, sur <https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9flectivit%C3%A9>
- Wikipédia. (s.d.). *Lidar*. Consulté le Juin 1, 2017, sur https://fr.wikipedia.org/wiki/Lidar#cite_note-1

VI. Annexes

La numérotation des annexes correspond aux chapitres du rapport. Les annexes papiers se trouvent à la suite de ce document.

<i>Nom</i>	<i>Description</i>
<i>3_1_1_Prise_en_main_Heron_AC-1</i>	<i>Mode d'emploi pour l'utilisation ainsi que traitement dans le logiciel HERON Desktop</i>
<i>5_3_Trajet_Scooter</i>	<i>Description des trajets en scooter</i>
<i>6_1_1_Detection_de_cylindres</i>	<i>Description du test de détection des cylindres</i>
<i>6_1_2_Detections_de_spheres</i>	<i>Description du test de détection des sphères</i>
<i>6_1_3_Precision_de_plans</i>	<i>Description du test de la précision relative de plans</i>
<i>6_2_Derive_interieur</i>	<i>Description du test de la dérive du Heron AC-1 à l'intérieur</i>
<i>6_4_Matérialisations_Trajet_T1</i>	<i>Description de la matérialisation du trajet T1 ainsi que du trajet effectué avec le Heron AC-1</i>
<i>7_3_Derive_foret</i>	<i>Description du test de la dérive du Heron AC-1 à l'extérieur (en forêt)</i>

Les annexes numériques comportent un préfixe N.

Nom	Description
<i>N_0_Plan_de_travail</i>	<i>Description du plan de travail au commencement</i>
<i>N_0_Journal_de_travail</i>	<i>Journal des tâches effectuées par jour</i>
<i>N_1_2_Cahier_des_charges</i>	<i>Cahier des charges du travail de Bachelor</i>
<i>N_1_2_Confidentialite</i>	<i>Charte de confidentialité du travail de Bachelor</i>
<i>N_3_1_1_HERON_SoftwareManual</i>	<i>Mode d'emploi pour l'utilisation ainsi que le traitement dans le logiciel HERON Desktop</i>
<i>N_3_2_3_Systèmes existants</i>	<i>Inventaire des systèmes laser scanner 3D mobile existants</i>
<i>N_3_4_Target_Gexcel_90mm_noir</i>	<i>Cible de l'entreprise Gexcel</i>
<i>N_4_1_2_JRC3D</i>	<i>Démarche des traitements de nuages de points dans le logiciel JRC3D Reconstructor par Arthur Mancini</i>
<i>N_6_1_2_1_detections_de_spheres</i>	<i>Détail de la détection de sphères du trajet T1 et T2</i>
<i>N_6_1_2_1_Distance_3D_sphères</i>	<i>Détail du calcul des distances relative 3D entre les sphères du trajet T1 et T2</i>
<i>N_6_2_FARO_Control_Georef</i>	<i>Contrôle du géoréfercement des scans au Faro du couloir de l'étage D</i>
<i>N_6_2_1_Detection_Piliers_Spheres</i>	<i>Détail de la détection des piliers (cylindres) et des sphères du couloir D de la HEIG-VD du trajet T2</i>
<i>N_6_2_2_Géorefercement_Sphères</i>	<i>Détail du géoréfercement du trajet T2</i>
<i>N_6_2_3_Derive_intérieur</i>	<i>Détail de la dérive intérieur</i>
<i>N_6_3_Largeur_portes</i>	<i>Détail de la détection de l'ouverture d'une porte et croquis</i>
<i>N_6_4_1_Control_Georef_aller</i>	<i>Détail du géoréfercement et des écarts des sphères du trajet T1 (parcours « aller »)</i>
<i>N_6_4_1_Control_Georef_retour</i>	<i>Détail du géoréfercement et des écarts des sphères du trajet T1 (parcours « retour »)</i>
<i>N_7_2_Distances_relative_parcous</i>	<i>Détail du calcul des distance 3D du trajet T11</i>
<i>P_10_Réseau_HEIG-VD</i>	<i>Ensemble des points du réseau de la HEIG-VD</i>