



HAL
open science

Étude d'un système d'acquisition dynamique mobile et mise en place de procédures permettant de gérer, suivre et valoriser de multiples données

Nicolas Deschatrette

► **To cite this version:**

Nicolas Deschatrette. Étude d'un système d'acquisition dynamique mobile et mise en place de procédures permettant de gérer, suivre et valoriser de multiples données. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2017. dumas-01834355

HAL Id: dumas-01834355

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01834355>

Submitted on 10 Jul 2018

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

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

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS
ECOLE SUPERIEURE DES GEOMETRES ET TOPOGRAPHES

MEMOIRE

présenté en vue d'obtenir

le DIPLOME D'INGENIEUR CNAM

SPECIALITE : Géomètre et Topographe

par

Nicolas DESCHATRETTE

Etude d'un système d'acquisition dynamique mobile et mise en place de procédures permettant de gérer, suivre et valoriser de multiples données

Soutenu le 06 juillet 2017

JURY

PRESIDENT : Monsieur Jean-Marie SEÏTE

MEMBRES : Monsieur Jose CALI (Professeur référent)
Monsieur Jérémie ROBERT
Monsieur Sylvain NEUILLY (Maître de stage)

Remerciements

Lors de mon stage de fin d'études, j'ai été accueilli par la société Neuilly SAS pour travailler sur un système de cartographie mobile, le Leica Pegasus Backpack. En effet, je souhaitais prendre de l'expérience dans la modélisation 3D et approfondir mes connaissances dans les systèmes de cartographie dynamiques.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au bon déroulement de ce travail de fin d'études ainsi qu'à la rédaction de ce mémoire :

- Monsieur Sylvain Neuilly, ingénieur ESGT, Géomètre-Expert et dirigeant de la société Neuilly SAS. Je le remercie de m'avoir accueilli dans son entreprise. De plus, ses conseils ont été particulièrement enrichissants. Je remercie également Monsieur Joël Neuilly, fondateur de la société;

- Monsieur Vincent Neuilly et Monsieur Ghyslain Macé pour leurs conseils, leurs formations et leurs expériences sur le système;

- L'ensemble du service cartographie pour leur accueil chaleureux;

- Monsieur Raphael Goudard, et le support Leica pour l'ensemble des informations techniques sur le produit;

- Monsieur José Cali, mon professeur référent, pour sa disponibilité et ses conseils techniques.

Enfin, je tiens à remercier ma famille pour son aide et son soutien.

Liste des abréviations

2D / 3D : 2 Dimensions (X,Y) / 3 Dimensions (X,Y,Z)

BIM : Building Information Model

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

DAO : Dessin Assisté par Ordinateur

DGPS : Differential Global Positioning System

EMQ : Ecart Moyen Quadratique

ESGT : Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes

GDOP : Geometrical Dilution Of Precision

GNSS : Global Navigation Satellite System

GPS : Global Positioning System

HTML : HyperText Markup Language

IMMS : Indoors Mobile Mapping System

IMU : Inertial Measurement Unit

INS : Inertial Navigation System

LASER : Light Amplification by Simulated Emission of Radiation

MNS : Modèle Numérique de Surface

MMS : Mobile Mapping System

MNT : Modèle Numérique de Terrain

RTK : Real Time Kinematic

RGF 93 : Réseau Géodésique Français 1993

SIG : Système d'Information Géographique

TFE : Travail de Fin d'Etudes

VRD : Voirie Réseaux Divers

Glossaire

Classification : méthode qui permet de labéliser des points d'un nuage de points en fonction de critères communs.

Courbes de niveau : lignes imaginaires dont l'altitude est constante afin de représenter le relief.

Lasergrammétrie : technique utilisant les données laser afin de déterminer des formes et des dimensions.

Maillage : procédé qui crée des polygones à partir de points (triangles, rectangles...).

Nuage de points (« *Point Cloud* ») : ensemble de points 3D représentant une surface, une forme ou un objet. Les données peuvent être produites par de nombreuses techniques (photogrammétrie, lasergrammétrie, radargrammétrie, bathymétrie...etc).

Formats LAS/E57 : formats d'échanges de nuages de points.

Texturage : traitement qui consiste à plaquer une image sur un maillage.

Segmentation : étape de traitement consistant à découper le nuage de manière aléatoire ou en respectant une classification.

Table des matières

Remerciements	2
Liste des abréviations	3
Glossaire	4
Table des matières	5
Introduction	7
I. La cartographie mobile.....	9
I.1. ETAT DE L'ART	9
I.1.I. DEFINITION	9
I.1.II. APPLICATIONS	10
I.1.III. LES VALEURS AJOUTEES DES MMS LEGERS	12
I.1.IV. LES LIMITES	12
I.2. LE SYSTEME BACKPACK.....	13
I.2.I. COMPOSITION	13
I.2.II. FONCTIONNEMENT	14
L'ACQUISITION.....	14
LE CALCUL DE LA TRAJECTOIRE	15
L'EXTRACTION DU NUAGE	18
LA DIGITALISATION	18
I.2.III. CONCLUSION	19
II. Estimations de la qualité des données produites.....	19
II.1. INTRODUCTION	19
II.2. PROTOCOLE EXPERIMENTAL	21
II.3. RESULTATS DU PROTOCOLE	22
II.3.I. EXACTITUDES ET FIDELITES ABSOLUES	22
II.3.II. INFLUENCE DE LA VITESSE D'ACQUISITION	24
II.3.III. COMPARAISON DES VALEURS ENTRE DEUX TYPES D'ANTENNES	25
II.4. LE LEVE INTERIEUR	26
II.4.I. LA TECHNOLOGIE SLAM	26
II.4.II. PROCEDURES DU LEVE INTERIEUR.....	27
II.4.III. LES RESULTATS.....	28
II.5. AMELIORATION DES NUAGES DE POINTS	29
II.5.I. LES RECALAGES	29
II.5.II. L'UTILISATION DU SLAM.....	30
II.6. CONCLUSION ET PERSPECTIVE	30
III. Automatisation des traitements	31
III.1. PRESENTATION DES BESOINS	31
III.2. LES LOGICIELS.....	32
III.3. UN TRAITEMENT DE BASE.....	35
III.3.I. LA CLASSIFICATION	36
III.3.II. LA SEGMENTATION	38
III.3.III. LE FILTRAGE.....	39
III.3.IV. L'EXTRACTION D'INDICATEURS.....	39

III.4. LES DIFFERENTS INDICATEURS	40
III.4.I. LA MORPHOLOGIE	41
III.4.II. LES PENTES ET DENIVELES	42
III.4.III. LA RUGOSITE	42
III.4.IV. LES PROBLEMATIQUES RENCONTREES	44
IV. Gestion et valorisation des données	45
IV.1. LE SUIVI DES DONNEES.....	45
IV.1.I. L'INTERFACE DU SUIVI GLOBAL	46
PRESENTATION	46
PERSPECTIVES	47
IV.1.II. UNE INTERFACE POUR AMELIORER LE TRAVAIL.....	48
PRESENTATION	48
LE DEVELOPPEMENT DE PLUGIN QGIS.....	49
LE RAPPORT DE QUALITE	50
IV.2. VALORISATIONS DES DONNEES	51
IV.2.I. MAQUETTES NUMERIQUES.....	51
PRESENTATION DU BIM	51
LES LOGICIELS BIM.....	53
LE MAILLAGE	53
LE TEXTURAGE	54
IV.2.II. VISUALISATEURS WEB	55
Conclusion	57
Table des annexes	61
Annexe 1 Protocoles et valeurs	62
Annexe 2 Fiches techniques des antennes	65
Annexe 3 Modeleur Qgis.....	67
Annexe 4 Le questionnaire	68
Annexe 5 Création d'interfaces graphiques en VBA	70
Annexe 6 Création d'un plugin Qgis	72
Annexe 7 Le rapport de qualité	73
Annexe 8 La visualisation Web.....	74
Table des illustrations.....	75

Introduction

Présentation de l'entreprise d'accueil

Mon stage de fin d'études a été réalisé dans la société Neuilly SAS. Historiquement, elle a été fondée en 1981 mais dispose de l'expérience de plusieurs sociétés qui ont fusionné au cours des années. Cette société se compose à la fois d'un cabinet de géomètre –expert avec un service foncier et d'un bureau d'études complet allant de la cartographie, de la mesure 3D jusqu'aux études VRD et aux restructurations de lignes électriques. Neuilly SAS compte 26 collaborateurs. Son siège est implanté à Marmagne dans le Cher et elle dispose d'un bureau sur Châteauroux dans l'Indre.

L'investissement constant de l'entreprise dans les nouvelles technologies lui permet d'être présente sur de nouveaux marchés. Des partenariats avec d'autres sociétés, notamment avec 3DSi et SIGEO 3D, ont vocation aux partages de nouvelles technologies (avec le Pegasus Two) et de connaissances (Lidar, SIG).

Contexte de l'étude

Dans l'optique du développement des nouvelles technologies, la société a fait l'acquisition d'un système de cartographie dynamique, le Leica Backpack. C'est un outil utilisant de nombreux capteurs, notamment des caméras et des profilomètres. Parallèlement, de nouveaux ordinateurs et un serveur ont été mis en place afin d'emmagasiner de grandes quantités de données pour répondre aux problématiques des calculs et du stockage.

Afin de maîtriser la chaîne de traitement, une étude a été menée sur le contrôle de la qualité des mesures. Une fois la connaissance de la qualité des données acquises, l'étude s'est poursuivie sur l'amélioration de la chaîne de traitement. Pour cela, la méthode de DMAIC (figure 1) a été utilisée pour identifier les problèmes, mesurer les performances des procédures présentes, analyser les défauts, rechercher les solutions d'améliorations et leurs suivis.

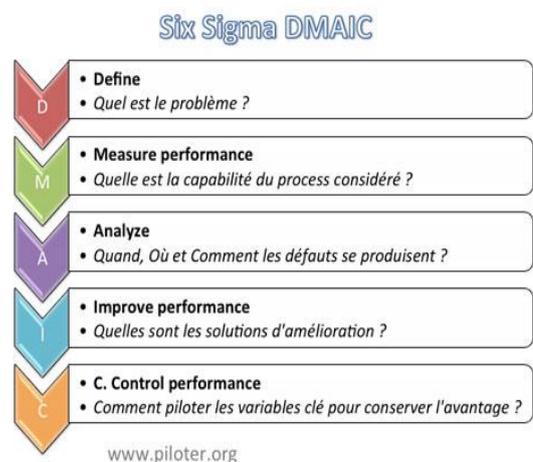


Figure 1 : schéma de la méthode DMAIC (source : piloter.org, consulté le 03/05/2017)

Cette méthode s'inscrit dans la méthode « *Lean Manufacturing* » [MENAGER Maxime, 2016] afin d'améliorer les procédures et de réduire les tâches chronophages. Le « *Lean Manufacturing* » (« fabrication maigre ») est la version occidentale du système d'organisation de Toyota. Son principe se base sur l'allégement des procédures de fabrication afin de garder l'essentiel et d'éliminer tous les éléments pouvant freiner les performances. Pour l'objet d'étude, je me suis concentré principalement sur la production de plans mais également sur les modèles en trois dimensions afin de les valoriser. De multiples solutions existent pour l'exploitation des données Lidar en fonction des différents objectifs attendus. Le but a été de trouver celle la plus adaptée.

Sur l'ensemble du stage, j'ai étudié les processus et les performances nécessaires aux différents collaborateurs. Pour déterminer les besoins, je me suis appuyé sur l'avis des intervenants grâce à un questionnaire mais également sur mes expériences.

Au cours de cette analyse, des améliorations ont été apportées sur la partie de création de nuages, puis sur les traitements des données Lidar pour optimiser leurs exploitations. De plus, une solution de suivi des données a été mise en place pour contrôler et gérer la chaîne de traitement à partir d'une base de données. Enfin une dernière partie s'est portée sur les possibilités de mise en valeur des données en trois dimensions.

I. La cartographie mobile

I.1. Etat de l'art

I.1.i. Définition

La cartographie mobile est un outil de numérisation de l'environnement. C'est une technologie qui s'est développée dans les années 90. Ce domaine est en plein essor depuis quelques années [DUPUIS Benjamin, 2014]. Avec l'évolution rapide des outils informatiques permettant d'effectuer des traitements sur d'importantes quantités de données, la cartographie mobile est devenue un outil de plus en plus indispensable pour pouvoir acquérir rapidement des données en trois dimensions sur de grandes distances et à grande échelle. Cependant, cet outil est complexe puisqu'il utilise à la fois des technologies Lidar et d'autres capteurs (Centrales inertielles, caméras, GNSS, odomètres...etc.). Ainsi, pour obtenir de bonnes précisions, tous les composants doivent être parfaitement étalonnés.

La cartographie mobile peut se diviser en deux grandes catégories : les systèmes mobiles de cartographie dit "lourds" (utilisant des véhicules tels que les voitures) et les systèmes dits "légers" (pouvant se déplacer indépendamment d'un moyen de transport). Dans ce stage, je me suis intéressé à cette dernière et plus particulièrement au système Leica Pegasus Backpack (figure 2). Actuellement sur le marché, on peut trouver des systèmes proches de celui de Leica avec notamment le ZebRevo de GeoSlam (figure 2), le Robin de 3Dlasermapping (figure 2), l'IMS3 de Iwane et d'autres systèmes non commerciaux issus de projets de recherche (FLREC Geomatics, Verdino2).

Noms	Leica Pegasus Backpack	ZebRevo	Robin
Appareils			

Figure 2 : tableau des systèmes MMS légers commerciaux (source : sites fabricants, Leica.com, Zebrevo.com Robin.com)

Leurs points communs sont notamment les techniques d'acquisition ne nécessitant pas de véhicules lourds (ex : voiture). De plus, ce sont des systèmes fonctionnant en intérieur (IMMS, Indoor Mobile Mapping System) mais également en extérieur. Cependant, chacun a des caractéristiques particulières (figure 3).

Appareils	Leica Pegasus Backpack	ZebRevo	Robin
Poids	13 kg	1.0 kg	9 kg
Compositions	2 profilomètres 5 caméras 1 antenne GNSS 1 centrale inertielle	1 profilomètre 1 camera 1 centrale inertielle	1 profilomètre 1 camera 2 antennes GNSS 1 centrale inertielle
Fréquences d'acquisition Lidar	600 000 pts/sec	43 200 pts/sec	1 000 000 pts/sec

Figure 3 : comparaison des systèmes de cartographie « légers » commercialisés

Finalement, le Leica Backpack est actuellement la solution la plus complète des MMS « légers » à la fois pour ses équipements et ses performances.

I.1.ii. Applications

En général, les applications de la lasergrammétrie sont multiples. Grâce aux acquisitions Lidar, on peut collecter une masse importante de données.

On retrouve la lasergrammétrie dans les domaines suivants :

- la création de données 2D :

Cette technologie acquiert l'intégralité des éléments qui l'entourent. On peut digitaliser les éléments à partir de ces données pour extraire des morphologies et des plans classiques. De plus, comme c'est un système hybride pouvant numériser en intérieur et en extérieur, il est possible de générer des plans (figure 4) et des coupes;

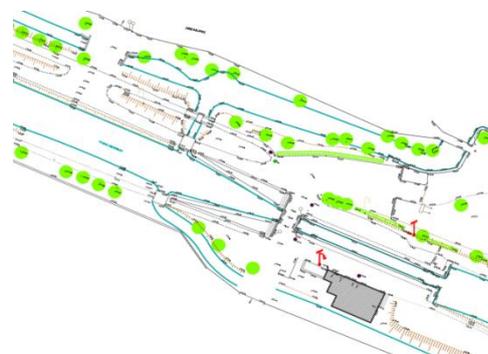


Figure 4 : plan (source : neuilly SAS)

- la modélisation pour les secteurs du tourisme et de la communication :

Etant donné que l'on produit des données en 3D, on peut générer des maquettes et visites virtuelles pour créer une immersion virtuelle. On peut notamment produire des maquettes BIM ou plus simplement numériser l'environnement pour intégrer des projets d'architecte et faire des simulations. L'outil devient simple. On peut également créer des tests de collision entre



Figure 5 : visualisation d'un site (source : sketchfab.com, consulté le 10/05/2017)

objets et environnements pour connaître l'espace libre pour un projet (ex : le passage d'un engin dans un espace restreint). Des visualisations peuvent être produites à travers des plateformes dédiées ou directement dans le langage WebGL pour l'intégration intuitive des acquisitions dans des navigateurs web (figure 5). Des logiciels permettent également de charger les données dans des casques de réalités virtuelles;

- les données SIG pour la planification et la gestion urbaine :

Une fois les données récoltées, il est possible d'en extraire des éléments vectoriels pour les intégrer dans des systèmes d'informations géographiques. Depuis la directive INSPIRE, le développement des infrastructures géographiques ne cesse de s'accroître dans les collectivités et les grandes entreprises de gestion de réseaux. Cependant, l'intérêt de ces outils nécessite la mise à jour des informations. La cartographie dynamique offre des possibilités plus grandes que les levés classiques. De plus, la qualité des données varie mais une précision absolue centimétrique n'est pas toujours utile. On peut produire des données de masse beaucoup plus rapidement. Les développements des SIG 3D se mettent également en place. Pour la planification urbaine, il est important d'établir un état des lieux des espaces. Ensuite, des outils permettent grâce aux données de gérer et d'optimiser la planification urbaine



Figure 6 : PLU++ (source : ignnf.github.io/, consulté le 10/05/2017)

comme le projet collaboratif de recherche PLU++ (figure 6) qui vise à faciliter la concertation autour des Plans Locaux d'Urbanisme et à effectuer des simulations.

I.1.iii. Les valeurs ajoutées des MMS légers

Tout comme les scanners statiques, les systèmes de cartographie dynamiques présentent de multiples avantages :

- un rendement beaucoup plus important sur le terrain comparé aux techniques classiques;
- une acquisition rapide permettant des interventions courtes sur les lieux pour éviter la monopolisation des espaces (exemple : une usine ou une rue);
- un levé sécurisé sans contact et donc sans endommager les surfaces;
- une numérisation de l'ensemble de l'environnement à un moment donné, afin de figer les éléments et de les réutiliser par la suite si besoin;
- des données riches et de nombreuses possibilités d'exploitations;
- des passages dans des lieux restreints (intérieur, extérieur, petit couloir.. etc);
- des données beaucoup plus simples et intuitives pour tous types de personnes (exemple : visite virtuelle);
- des données en trois dimensions permettant diverses simulations notamment la détection de collision, le calcul de cubature ou l'estimation des hauteurs de crues;
- des images semi-sphériques pour une meilleure compréhension de l'espace.

Le Leica Backpack a donc l'atout de sa mobilité et permet de numériser davantage de lieux et d'espaces. La grande différence entre la lasergrammétrie terrestre statique et dynamique se distingue dans la quantité de données produite mais également le géoréférencement direct. Le rendement est encore plus important. En revanche, il y a des limites en matière de qualité et plus précisément sur l'épaisseur de bruit. En effet, un levé statique diminue la quantité de bruit et par conséquent on obtient une meilleure précision relative.

I.1.iv. Les limites

Un frein majeur de cette technique est la nécessité de posséder de puissants ordinateurs en capacité de lire et de travailler avec un nombre important de données à la fois pour les sociétés mais également pour les clients. Il est nécessaire d'investir considérablement dans des machines performantes pour traiter ces données. Le temps que l'on gagne sur le terrain multiplie les calculs au bureau. Auparavant la société travaillait

avec des tablettes sur le terrain et dessinait l'intégralité des éléments sur place. Le temps au bureau était principalement consacré à préparer les missions ou à finaliser les rendus. Il est donc nécessaire d'optimiser cette dernière phase. Mais pour les clients, ils doivent également suivre les évolutions technologiques. Le constant changement dans ce domaine améliore les échanges mais nous devons considérer la possibilité de clients non équipés des dernières versions récentes des logiciels ainsi que de machines performantes. Pour cela, nous devons adapter les rendus en fonction de chaque client.

Enfin, il y a les inconvénients techniques du Backpack. On peut noter le non fonctionnement sous 0°C. De plus, lorsque la pluie est trop importante, les données du Lidar sont perturbées et les résultats ne sont pas concluants. Lorsqu'il y a trop de soleil et que les rayons heurtent les objectifs, les photos sont surexposées et inexploitable même s'il est toujours possible d'utiliser le Lidar. Il y a également la partie technique des batteries avec ses inconvénients. Il y a quatre batteries (deux en haut et deux en bas). La différence de charge entre les batteries du haut et du bas ne doit pas excéder une variation de plus de 5%. L'utilisation du sac à dos 8 heures par jour avec ses 13 kilos est une véritable charge. Pour améliorer le confort du personnel, la société s'est équipée d'un gyropode tout terrain.

Actuellement, les applications développées par la société s'orientent sur la réalisation de plans topographiques à grande échelle pour les gestionnaires de réseaux, la communication par la visualisation de projets (maîtrise d'œuvre) et les levés d'intérieur.

I.2. Le système Backpack

Le Leica Pegasus Backpack est un système très récent. Son principal avantage par rapport à la cartographie mobile installée sur les véhicules est sa mobilité. En effet, l'utilisation peut se faire dans des lieux beaucoup plus étroits et à l'intérieur des bâtiments.

I.2.i. Composition

Le Leica Pegasus Backpack (figure 7) est un outil composé d'une antenne GNSS (Triple bandes, toutes constellations), d'un double scanner velodyne VLP-46 pour un total de 600 000 pts/s, de 5 caméras, d'une centrale inertielle (125 Hz), 4 batteries, d'un ordinateur interne avec une capacité de stockage de 1 To, et d'une tablette permettant de contrôler les paramètres à distance lors de l'acquisition.



Figure 7 : composition du Backpack, (source : leica.com)

I.2.ii. Fonctionnement

On peut distinguer quatre grandes étapes (figure 8):



Figure 8 : les quatre grandes étapes

L'acquisition

Pour effectuer l'acquisition, une antenne GNSS est mise en place comme pivot au centre du chantier. L'initialisation de l'appareil peut commencer. Cette étape débute par une phase de cinq minutes en mode statique afin de permettre à l'appareil de se positionner grâce aux observations GNSS. Puis, une phase dynamique démarre afin d'ajuster les paramètres de la centrale inertielle avec les observations GNSS durant huit minutes. Une fois cette étape terminée, le technicien est opérationnel et peut commencer l'acquisition des éléments souhaités.

Les deux profilomètres scannent par définition un profil sous deux orientations, horizontale et verticale (figure 9). L'angle d'ouverture des lasers est de 30° pour une portée maximale de 50 mètres. Chaque capteur définit un plan. C'est le déplacement qui permet d'obtenir la troisième dimension. Parallèlement, des photographies sont prises à un intervalle donné (0.5 s jusqu'à 10 s). L'antenne GNSS capte les observations satellites et la centrale inertielle enregistre les paramètres de déplacement avec le vecteur vitesse et les angles d'altitude (roulis, tangage et lacet) pour déterminer une position.



Figure 9 : angles des profilomètres (source : Nicolas D.)

Pour une acquisition optimale, il est recommandé de favoriser les espaces dégagés. Pour augmenter la densité de points, l'opérateur doit adopter un rythme modéré (environ 5 – 7 km/h). Lorsque les éléments à numériser sont de petites tailles, il peut également s'en rapprocher dans le but d'améliorer la densité. Enfin, l'utilisation d'un gyropode (figure 11) permet de réduire considérablement les problèmes de roulis afin d'obtenir une trajectoire beaucoup plus linéaire.

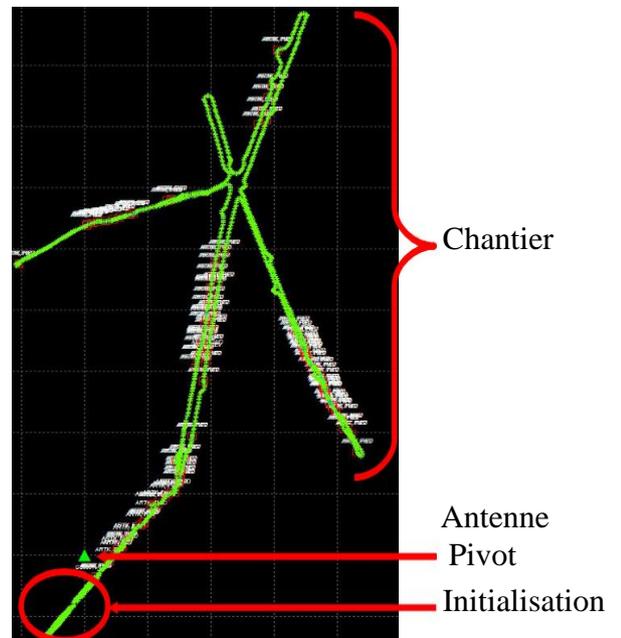


Figure 10: exemple de la trajectoire d'un chantier sous Inertial Explorer

Le calcul de la trajectoire

Le but de ce traitement est de fusionner les données issues des capteurs (Antennes GNSS, IMU). Les données seules de l'antenne GNSS ou de la centrale inertielle ne sont pas assez robustes pour localiser de manière fiable le système. Pour réaliser la fusion des données, nous utilisons le logiciel Inertial Explorer. Après avoir calculé la position du pivot par une technique classique (PPK), nous avons le choix entre deux modes de calcul. Tout d'abord, on peut utiliser l'intégration par couplage lâche (« *loosely-coupled integration* »). Cette méthode se présente généralement par une architecture avec une boucle fermée par trois blocs distincts avec la solution GPS, la solution INS et enfin la solution couplée



Figure 11: levé du Backpack avec le pivot (source : Nicolas D.)

GPS/INS (figure 12) [LAVOIE Philippe, 2012]. Elle utilise, pour combiner les données, successivement plusieurs filtres de Kalman. Le filtre de Kalman est une méthode utilisant deux équations. A partir d'un modèle (équation d'état), une estimation prédictive est faite. Puis avec les observations (équation d'observation), on peut valider ou non cette prédiction pour corriger la trajectoire grâce à des calculs de compensation par l'intermédiaire des moindres carrés et réduire les erreurs liées aux mesures [JACQUIN Audrey, 2015].

Le couplage lâche traite individuellement les mesures GNSS et inertielles. Cette méthode calcule les positions à partir des pseudo-distances puis combine les données de la centrale inertielle. Au total, on utilise un filtre de Kalman pour la solution GNSS et un second pour assembler les deux données [GUEDDACHE Brahim, 2015].

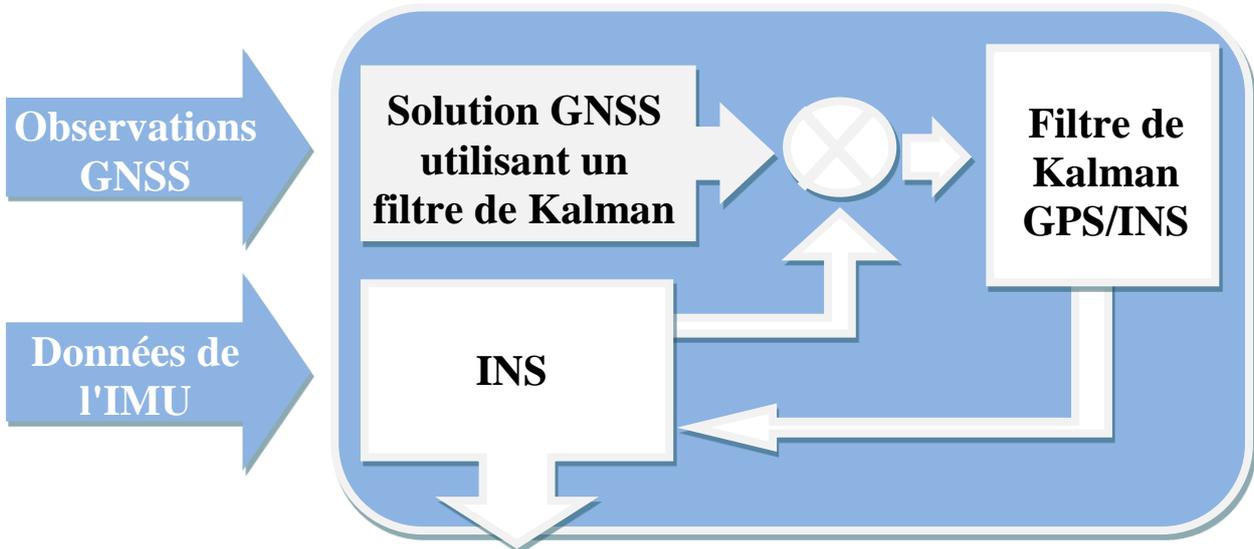


Figure 12 : schéma de la méthode par couplage lâche

La seconde méthode est une intégration par couplage serré (« *Tightly-Coupled Integration* ») fusionnant les données avec un unique filtre de Kalman (figure 13). Le principal avantage d'utiliser qu'un seul filtre est d'éliminer les erreurs en cascade de ces différents filtres. De plus, cela permet une solution beaucoup plus robuste et permet de réduire le niveau de bruit lors du filtrage des mesures. Au final, nous privilégions cette méthode pour obtenir les meilleures trajectoires possibles.

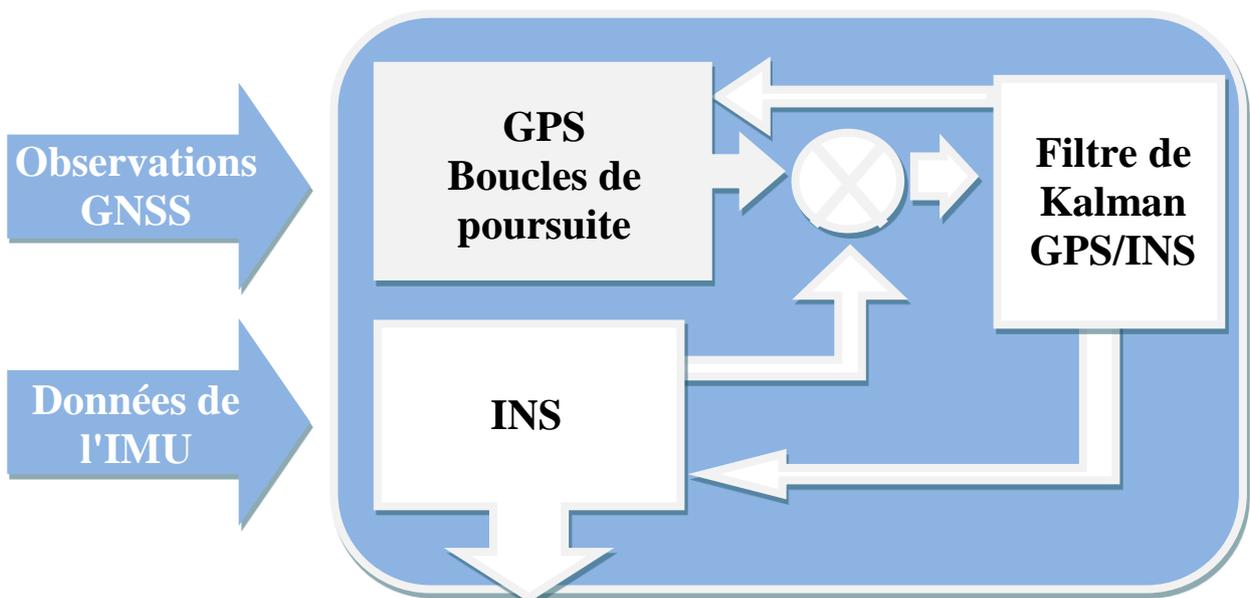


Figure 13 : schéma de la méthode par couplage serré

Le logiciel Inertial Explorer permet également d'apprécier la qualité des résultats grâce à des paramètres statistiques que ce soient les Ecart Moyens Quadratiques (EMQ ou « *RMS* »), les coupures GNSS, la qualité des observations GNSS, ... etc. mais surtout la séparation. Cette séparation ("*Combined Seperation*") permet de mettre en évidence les zones où le calcul diverge. En effet, le calcul se fait en trois phases : une phase de calcul dans le sens aller, puis retour et enfin une combinaison des résultats. Dans chaque phase, le calcul effectue une analyse des différences puis applique une correction. L'indicateur de séparation montre la différence de position (en mètre) entre la phase aller/retour. Ainsi, on peut situer de manière précise les zones où la solution du calcul ne converge pas (quand l'écart est supérieur à 5 cm). C'est également un indicateur qui révèle les zones de décalage lors de l'assemblage des nuages de points. Ainsi, on se concentre davantage sur ces zones pour prendre des points de recalage.

Sur le terrain, et pour la suite du traitement, nous devons prendre des points de contrôle mais également des points de recalage. Ce sont des points levés avec une antenne GNSS en mode NRTK. La principale différence est le nombre de points levés qui est plus important pour les points de recalage afin d'obtenir de meilleurs résultats. Pour déterminer sur le terrain les zones susceptibles d'être recalées, nous effectuons le calcul de la trajectoire sur place. Puis, nous l'exportons avec un intervalle de trois secondes incluant l'indicateur de séparation. Ainsi, on peut mettre en évidence les zones où le calcul trouve des biais (figure 14 : les points verts ne nécessitent pas de recalage).

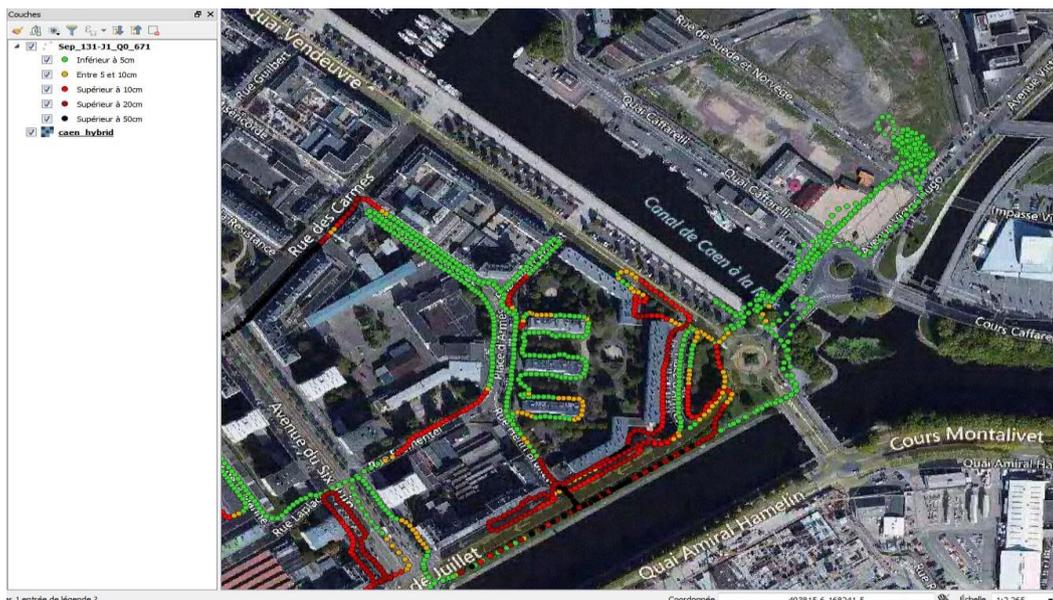


Figure 14 : exemple de l'indicateur de séparation (source : logiciel Qgis)

L'extraction du nuage

Une fois la trajectoire optimisée, nous pouvons passer à l'étape suivante qui consiste à produire un nuage de points. Pegasus Automatic Processing est un logiciel avec de multiples fonctions. Il permet notamment de gérer la production d'un nuage de points, d'extraire des images, de filtrer ou de décimer des points. Après avoir chargé la trajectoire, on peut créer le nuage en incluant des paramètres afin de ne pas prendre en compte les points trop proches ou trop éloignés en fonction d'un intervalle donné. Une fois le nuage créé, nous utilisons Pegasus Manager pour le visualiser. Des décalages peuvent plus ou moins apparaître en fonction de la qualité de la trajectoire surtout dans les zones où la séparation est grande. Le recalage est possible grâce à des points connus en coordonnées ou en moyennant deux positions. Le processus utilisé se décompose en deux étapes. En pratique, nous recalons le nuage grâce aux points de référence puis nous affinons le résultat en moyennant les nuages. La trajectoire est ensuite mise à jour puis un nuage est de nouveau créé. Un export dans un fichier .las peut être ainsi effectué. Pour obtenir un nuage de qualité, cette étape est chronophage.

La digitalisation

Pour digitaliser avec le nuage en référence, les opérateurs ont recours au logiciel Atlas de Atlog utilisant comme base Microstation. Des outils développés pour la société permettent de faciliter cette digitalisation. Une conversion des fichiers .las en .pod est nécessaire pour la lecture des points. Une passerelle a été mise en place entre Pegasus Manager et Atlas, pour pouvoir à la fois visualiser le nuage et sélectionner des points directement sous Pegasus Manager (figure 15). Enfin, l'opérateur peut visualiser le terrain grâce aux images et ainsi améliorer la digitalisation.

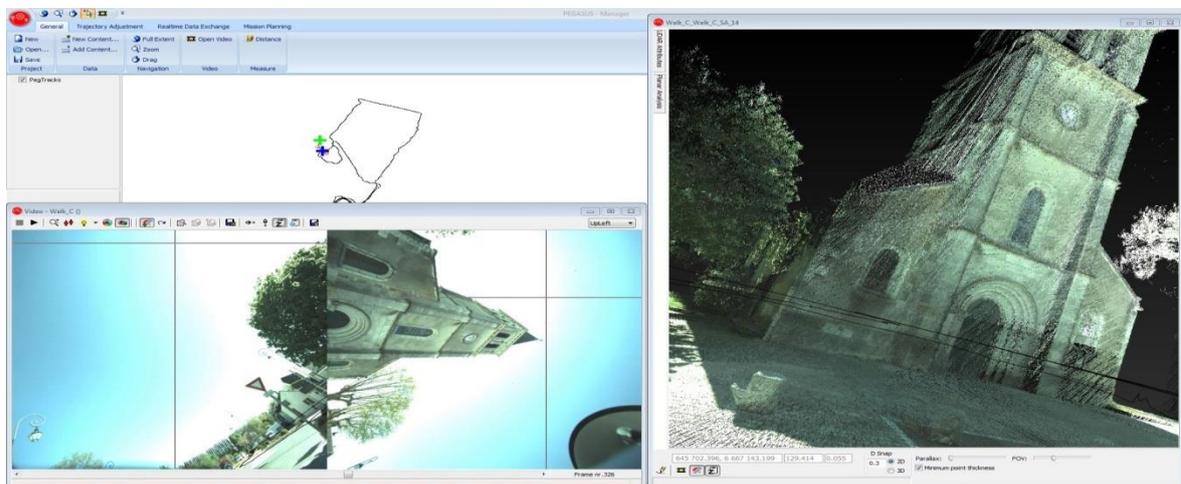


Figure 15 : visualisation logiciel (source : logiciel Pegasus Manager)

I.2.iii. Conclusion

La procédure pour obtenir un nuage propre est relativement longue même si j'avais à ma disposition des unités centrales très performantes. Le temps le plus important (hors temps machine) se concentre sur le recalage manuel des données. Plusieurs constats peuvent être mis en évidence. La trajectoire calculée est un point essentiel à la production d'un nuage de qualité. Cependant, je n'avais aucune possibilité pour améliorer cette étape. Une antenne avec de meilleures performances sera par la suite testée pour évaluer les progrès. Le recalage est un point globalement fastidieux mais indispensable. Les points de terrain doivent être pris puis le traitement peut s'effectuer. Un test en utilisant les algorithmes du SLAM sera par la suite mis en place pour observer les améliorations. Aucun compte rendu de qualité n'est produit après ces étapes. Ainsi, pour chaque chantier, l'opérateur peut observer la qualité du rendu visuel et valider les écarts observés, mais il n'existe pas d'historique de ces valeurs. C'est un frein pour suivre et gérer les données.

Par la suite, je vais mettre en œuvre un protocole permettant de contrôler la qualité des données.

II. Estimations de la qualité des données produites

II.1. Introduction

La connaissance de la qualité de l'appareil est une étape essentielle à la maîtrise de celui-ci et des produits finaux attendus. Deux approches peuvent être observées [*Martyna POREBA, 2014*]. La première effectue une analyse visuelle en notant le sens sémantique et en appliquant un coefficient, ce qui permet de mettre en exergue les fautes et décalages importants. C'est une étape régulièrement appliquée pour chaque acquisition afin de valider les traitements effectués. La seconde approche que je vais développer dans cette partie, consiste à décrire statistiquement les données dans le sens quantitatif (moyenne, écart, écart moyen quadratique, etc...). Pour évaluer la qualité des données acquises par le Pegasus Backpack, nous pouvons définir différents critères : complétude, résolution et précision [*Hyun-Jae Yoo, 2014*]. La complétude définit la couverture d'acquisition alors que la résolution permet d'analyser la répartition spatiale des données acquises. Quant à la précision, c'est un terme qui prête à confusion car elle peut exprimer trois notions

distinctes : l'Ecart Moyen Quadratique (EMQ), l'exactitude (biais) ou la fidélité (écart-type).

Il faut bien distinguer la fidélité de l'exactitude. La fidélité représente la dispersion des mesures autour de l'espérance, soit l'écart-type :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N V_i^2}{N - 1}}$$

V_i : Observations
 N : Nombre d'observations

On met en évidence ces éléments en répétant plusieurs fois la même mesure. La courbe (figure 16) représente la distribution des différentes valeurs mesurées d'une même grandeur, dont la valeur moyenne vaut X .

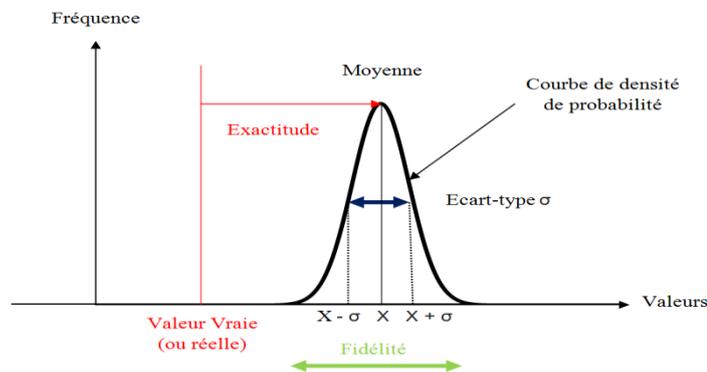


Figure 16 : représentation des notions d'exactitude et de fidélité dans le cas d'une loi normale (inspiration Yoo, 2011)

L'exactitude quant à elle s'apprécie avec la différence entre la mesure et la valeur vraie (valeur réelle ou nominale). C'est une valeur beaucoup plus compliquée à estimer puisqu'il faut déjà avoir la valeur vraie ou avoir des mesures de référence effectuées avec un appareil dont les performances en exactitude et fidélité sont supérieures (figure 17).

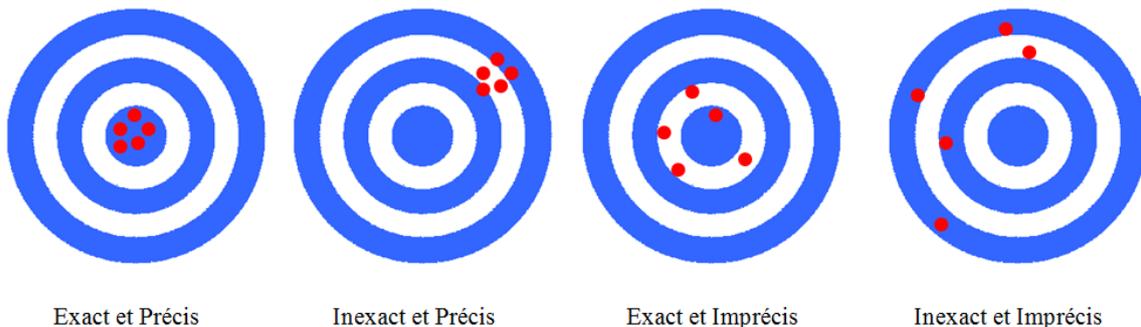


Figure 17 : représentation schématique de la précision et de l'exactitude

J'ai choisi de me concentrer sur la fidélité et l'exactitude. Ainsi, un protocole a été mis en place afin de mettre en évidence ces éléments en fonction de différents paramètres.

II.2. Protocole expérimental

Pour effectuer les tests, la zone la plus représentative des levés actuels a été choisie, avec un environnement dégagé, semi-urbain, une rue, un bâtiment important et une zone boisée (figure 18). Cette expérience s'est déroulée en plusieurs étapes en fonction des différents critères à mettre en évidence et sur plusieurs journées.

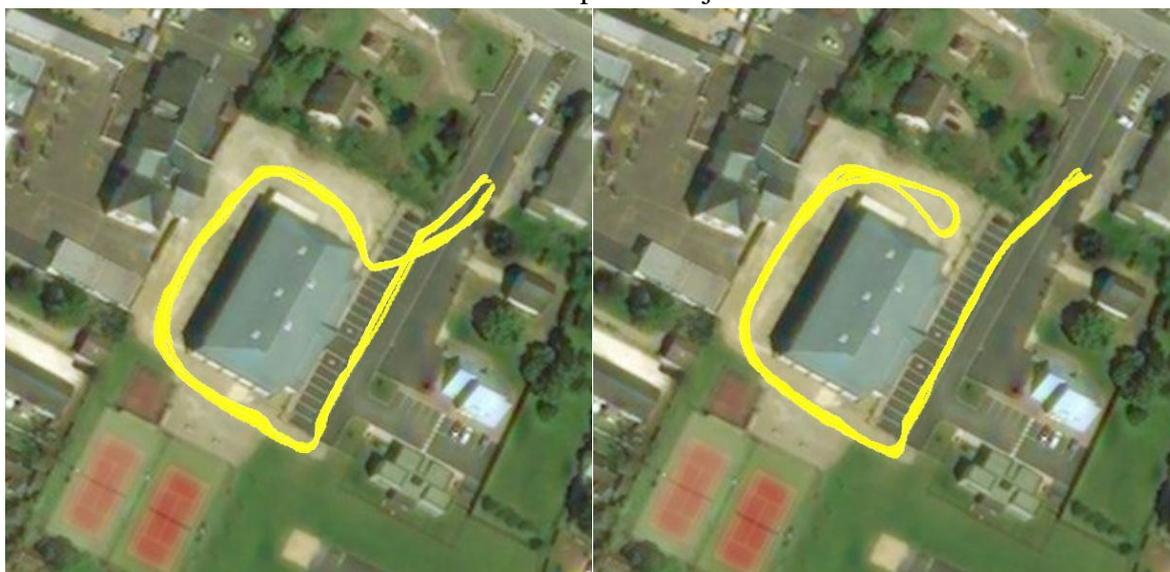


Figure 18 : trajectoire avec et sans recouvrement (source : logiciel Arcgis)

Dans un premier temps, pour évaluer la précision des acquisitions, des cibles ont été réparties sur l'ensemble de la zone de tests. Les cibles papier de Leica (figure 19) ont été privilégiées en raison de la grandeur de mon chantier. Leur installation s'est effectuée sur l'ensemble du levé à des hauteurs et des distances différentes de la trajectoire.



Figure 19 : cible (source : Nicolas D.)

Pour pouvoir évaluer l'exactitude, un levé des cibles et autres éléments caractéristiques permettant d'être facilement utilisables pour le protocole, a été réalisé à l'aide de la combinaison tachéomètre/GNSS. Chaque station a été mesurée par une antenne GNSS (Méthode du pivot central). Une polygonale a été effectuée avec une fermeture de 2.2 centimètres. Enfin, un calcul en bloc a permis de connaître la position des points rayonnés en projection Lambert 93. Les écarts observés maximaux étaient de 2.9 centimètres.

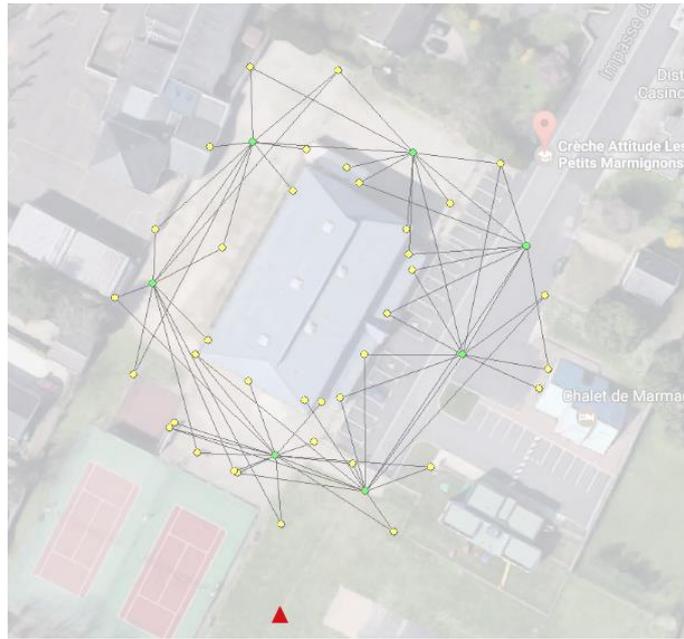


Figure 20 : polygonale du protocole (source : Covadis)

Pour diminuer les erreurs du pointage lors de la sélection du centre des cibles, le logiciel 3dReshaper a été testé pour extraire automatiquement les cibles et leurs positions. Cependant, le constat est simple : le logiciel ne pouvait pas les extraire correctement du fait du manque de densité. Par conséquent, un pointage manuel des points s’est révélé nécessaire pour extraire les coordonnées.

II.3. Résultats du protocole

II.3.i. Exactitudes et fidélités absolues

Les résultats de la répétabilité des mesures sont concaténés dans le tableau suivant (figure 21). Les écarts sont obtenus en fonction des mesures du Backpack avec les valeurs de référence pour chaque cible (en Lambert 93).

	E (en m)	N (en m)	H (en m)	2D (en m)	3D (en m)	3D (sans nettoyage des valeurs aberrantes en m)
Ecart maximum	0.07	0.08	0.07	0.08	0.09	0.36
Ecart minimum	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02
Moyenne des écarts	0.02	0.04	0.04	0.05	0.06	0.08
Ecart type	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.04

Figure 21 : résultats du protocole extérieur (voir extrait des valeurs dans l’annexe 1)

On constate une exactitude absolue de 6 cm et une fidélité de 2 cm (en XYZ).

Le test de répétabilité met en évidence la fiabilité de mes données pour un test avec 15 passages successifs sur 2 journées (avec une géométrie des satellites différente). Des écarts importants ont été observés sur une dizaine de points. Le contrôle de ces derniers, (avec des écarts supérieurs à 10 cm) a révélé un mauvais pointage puisque l'accrochage s'était effectué sur des données bruitées (figure 22). C'est pour cette raison que les valeurs étaient aberrantes.



Figure 22 : bruit du Backpack (source : logiciel Pegasus Manager)

En corrigeant ces valeurs, un écart maximal de 9 cm et une moyenne de 6 cm ont été obtenus. D'après les données constructeur, l'appareil produit des points avec un bruit de 4 cm et une exactitude absolue de 6 cm à un sigma. Ce test confirme ces indications.

Dans un second temps, pour mettre en évidence la répétabilité, il a fallu comparer les mesures entre elles pour chaque point. Contrairement au test précédent, les mesures sont comparées à leur moyenne (figure 23).

Points	Moyennes des écarts (en m)			Ecart types (en m)		
	E	N	H	E	N	H
1	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01
2	0.01	0.03	0.01	0.02	0.04	0.01
3	0.04	0.04	0.01	0.06	0.08	0.01
4	0.03	0.06	0.01	0.04	0.07	0.01
5	0.02	0.03	0.01	0.03	0.04	0.01
6	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
7	0.03	0.03	0.01	0.03	0.04	0.01
8	0.04	0.03	0.01	0.05	0.05	0.02
9	0.01	0.03	0.01	0.02	0.03	0.01
10	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00
11	0.02	0.02	0.01	0.03	0.03	0.01
12	0.01	0.04	0.01	0.02	0.06	0.01
13	0.03	0.01	0.01	0.05	0.02	0.01
14	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03	0.01
15	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01
16	0.02	0.01	0.00	0.03	0.02	0.01
Moyennes	0.02	0.03	0.01	0.03	0.04	0.01

Figure 23 : écarts des mesures des cibles à leur moyenne

On obtient une valeur moyenne (en XYZ) de 3.7 cm. Les observations GNSS apportent des erreurs supplémentaires à nos données en absolues.

II.3.ii. Influence de la vitesse d'acquisition

Le test suivant avait pour but de mettre en évidence l'influence du déplacement et surtout de la vitesse. Le profilomètre modélise en 2D et c'est le mouvement qui apporte la troisième dimension. Par conséquent, la vitesse est un facteur important qui impacte directement la densité de points. Les résultats de ce test (figure 24) se basent sur quatre vitesses moyennes différentes (1, 3, 7, 12 km/h).

On constate que les valeurs des écarts sont globalement les mêmes. Ce test met également en évidence la quantité de bruit. Lorsque la vitesse est très faible, la quantité de bruit est beaucoup plus importante et présente sur les données. Cela nécessite un traitement plus fin pour supprimer les artefacts. La seconde observation concerne les résultats des vitesses beaucoup plus élevées. La densité de points étant moins importante, le pointé est donc plus difficile et on peut intégrer beaucoup plus facilement des erreurs.

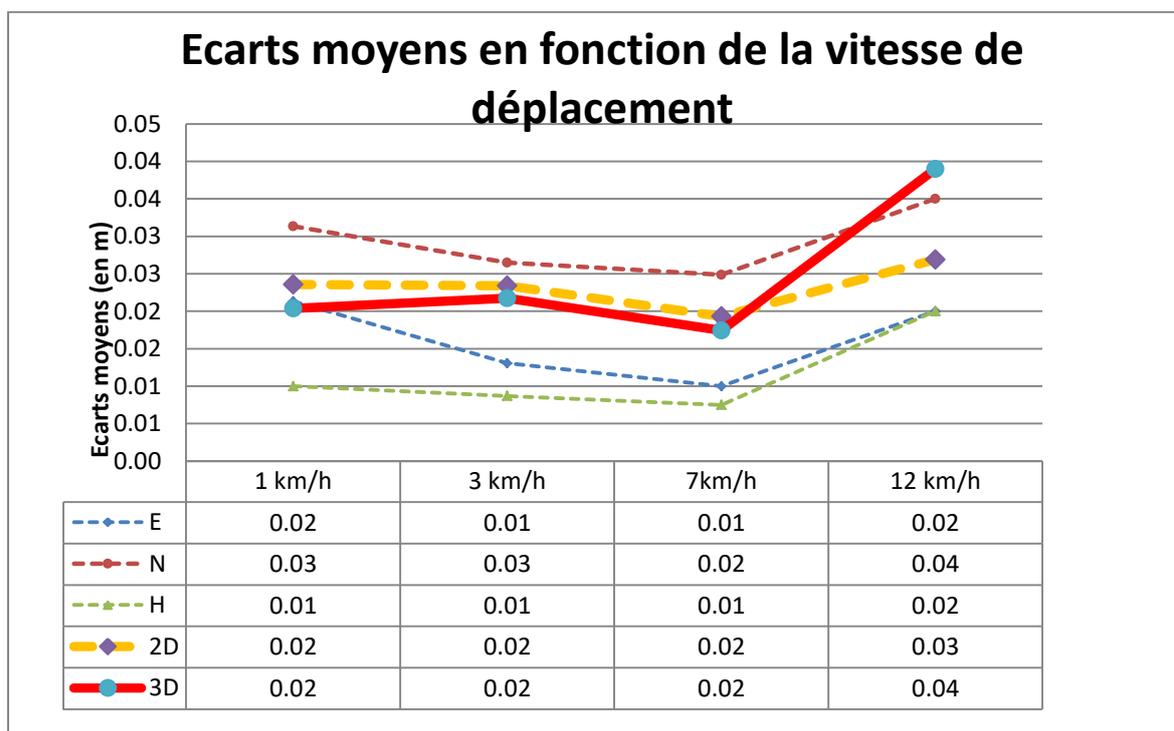


Figure 24 : graphique des écarts moyens en fonction de la vitesse de déplacement

Finalement, ce test confirme les observations faites sur le nuage. Une vitesse entre 3 - 7km/h permet d'obtenir de meilleurs résultats.

II.3.iii. Comparaison des valeurs entre deux types d'antennes

Lors de ce stage, nous avons reçu une nouvelle antenne, une Novatel GPS-703-GGG pour remplacer celle initialement installée, une Antcom G8 Ant-3A4Q1-B1 (annexe 2). Le même test a été réeffectué pour analyser les performances de cette dernière (figure 25). Une observation a été faite sur le terrain avec l'augmentation du nombre de satellites enregistrés sur des zones difficiles (passage de 5 à 10 satellites observés).

	Antenne 1 (en m)	Antenne 2 (en m)	Différence (en m)
Ecart maximum	0.09	0.07	0.02
Ecart minimum	0.02	0.02	0.00
Moyennes des écarts	0.06	0.04	0.02
Ecart type	0.02	0.01	0.01

Figure 25 : comparaisons entre les deux antennes en 3D

On remarque une amélioration sur les points aberrants. Les progrès sont considérables dans les lieux où la trajectoire était de mauvaise qualité. Sur des zones complexes, lorsque les observations GNSS ne sont plus reçues (par exemple sous un pont ou dans un espace boisé), ou lorsqu'elles deviennent insuffisantes, l'indicateur de séparation augmente. En utilisant la nouvelle antenne, on observe une nette amélioration (figure 26).

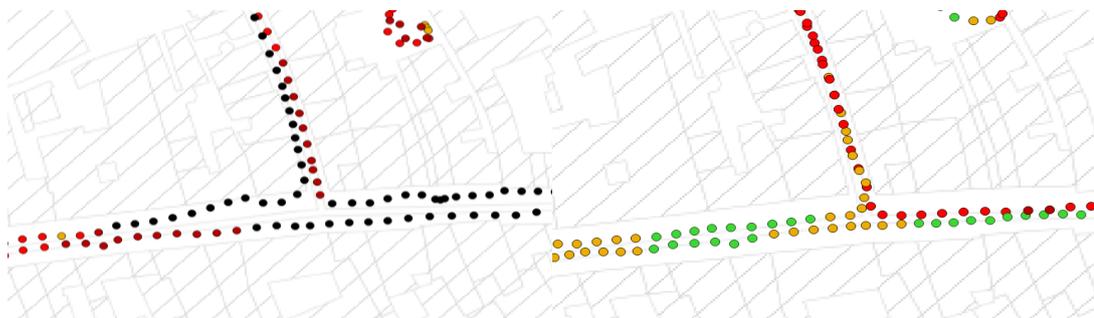


Figure 26 : séparation avec l'ancienne antenne (à gauche) et la nouvelle (à droite) (source : visualisation Qgis)

Malgré un almanach différent, le second test a été mené de manière à obtenir des trajectoires similaires (en essayant de suivre le même trajet que le précédent). Sous les arbres (nombreux platanes), l'acquisition a été réalisée afin d'éviter les variations de direction et de suivre une ligne la plus droite possible. Or, on observe des écarts importants entre l'ancienne trajectoire (en rouge, figure 27) et la nouvelle (en vert, figure 27) et plus précisément à l'intérieur de mes cercles rouges (zones d'arbres). Sur le terrain, l'ancienne antenne



Figure 27 : comparaison de deux passages similaires

enregistrait beaucoup moins de satellites. De ce fait, la centrale a dû compenser davantage avec l'ancienne antenne. Comme elle dérive, on peut observer des écarts non négligeables.

II.4. Le levé intérieur

II.4.i. La technologie SLAM

Le SLAM (« *Simultaneous Localization and Mapping* », ou système de localisation et de cartographie simultanées) [NARAYANA Keerthi, 2011] fait partie des solutions de localisation pour la cartographie mobile. C'est une technique qui se rapproche de la navigation des robots ou automates en espaces intérieurs. Le principe se base sur les propriétés invariantes de l'environnement pour calculer une trajectoire uniquement avec les données d'acquisition Lidar. A un moment donné, le scanner mesure des points de l'espace et se positionne dans celui-ci. Le profilomètre mesure des distances et il est donc possible de connaître la position de la source émettrice du laser. Un instant plus tard, le scanner peut effectuer le même constat en fonction de l'environnement. Si le scanner se déplace, l'espace garde ses mêmes propriétés. La technique du SLAM consiste à utiliser les plans ou objets immobiles pour recalcr l'ensemble des scans et ainsi redéterminer la position des scans à chaque moment et reproduire une trajectoire (figure 28).

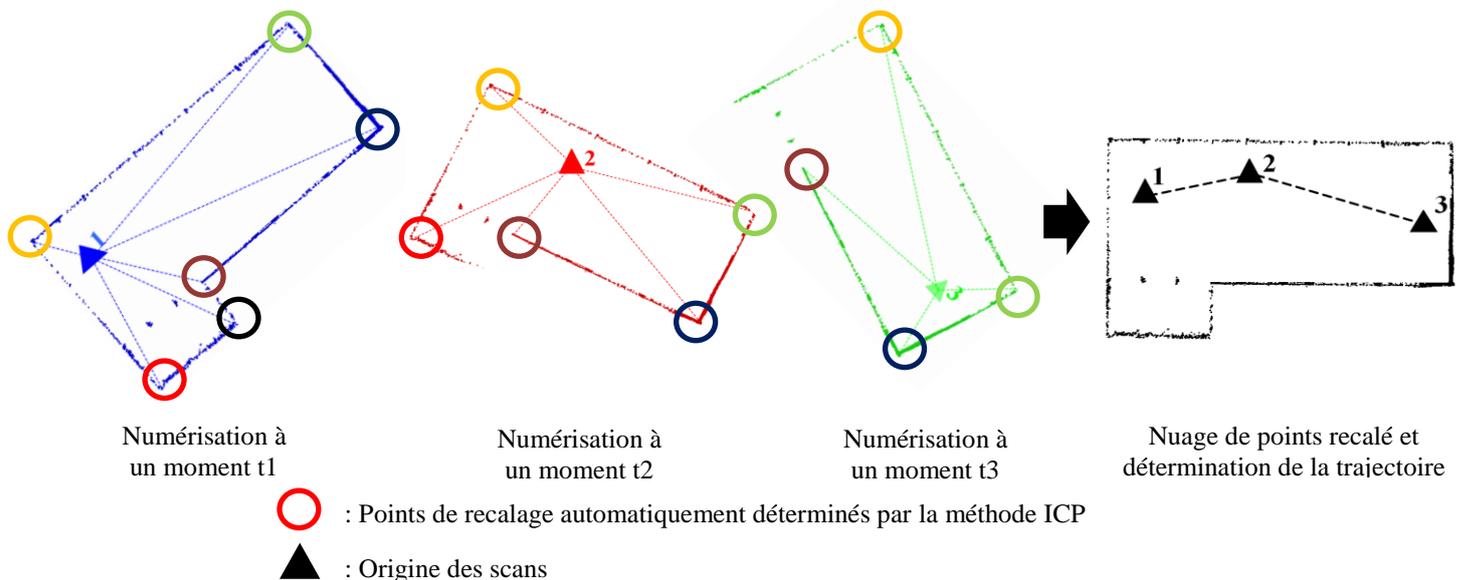


Figure 28 : schéma conceptuel du SLAM

Contrairement au calcul de la trajectoire à partir des données GNSS (indépendamment des profilomètres) qui est essentiel à la production de nuages de points,

le SLAM utilise le Lidar comme mesure et retrouve la position initiale de chaque donnée à un instant t . L'étape de recalage est primordiale pour obtenir un résultat satisfaisant.

C'est sur le recalage que l'on retrouve les différences majeures entre les multiples types de SLAM. Pour notre système, deux types de SLAM sont mis à notre disposition : le SLAM basique et le SLAM avancé.

- Le **SLAM basique** utilise seulement le profilomètre horizontal du système. A partir de ses acquisitions, le SLAM utilise les coupes pour recaler les divers environnements. Pour réussir à faire fonctionner le SLAM, il est donc indispensable d'avoir des plans ou éléments imposants et immobiles comme des murs ou des armoires afin d'avoir suffisamment de données pour recaler automatiquement les nuages. Le SLAM utilise les algorithmes des ICP (« *Iterative Closest Point* ») pour assembler les nuages entre eux de manière automatique en trouvant les paramètres de la transformation rigide qui minimisent la distance entre les nuages de points [PEÑA PASTOR Jorge, 2008].

- Le **SLAM avancé** utilise toutes les données (en plus des coupes) pour recaler les nuages et ensuite déterminer la trajectoire. Enfin, il est possible de les recaler de manière manuelle pour affiner les résultats.

Aujourd'hui, on retrouve cette technique à la fois en complément des systèmes de navigation classique (GNSS ou centrale inertielle) mais surtout en robotique et dans les voitures autonomes. Ce dernier domaine influence l'évolution et les connaissances sur le SLAM ainsi que dans la démocratisation des systèmes Lidar. L'accroissement de cette demande entraîne une baisse considérable des prix.

L'utilisation du SLAM fonctionne plus spécifiquement dans les zones closes comme les espaces d'intérieur. De plus, il permet de compenser la perte du signal GNSS.

Pour l'utilisation particulière du MMS Backpack qui a la particularité de pouvoir mesurer l'espace là où une personne peut se mouvoir, les intérieurs des bâtiments sont naturellement d'autres environnements possibles d'acquisition.

II.4.ii. Procédures du levé intérieur

Pour produire des données, il y a deux possibilités. Tout d'abord, on peut scanner de manière locale directement à l'intérieur des bâtiments ou alors en géoréférençant à l'aide de l'antenne GNSS en débutant l'acquisition de l'extérieur.

Pour les deux approches, on utilise la centrale inertielle comme seconde composante de navigation. De la même manière que l'assemblage des données GNSS, le logiciel utilise un filtre de Kalman pour obtenir de meilleurs résultats.

Pour chaque levé d'intérieur, le SLAM basique est utilisé seul dans un premier temps. Si le recalage n'est pas satisfaisant, le SLAM avancé est testé. La combinaison des deux SLAM peut se révéler nécessaire également pour obtenir des résultats optimaux. Pour des données trop complexes, un recalage manuel devient indispensable.

Mon projet pilote a été le scan d'une usine de cartons (figure 29).

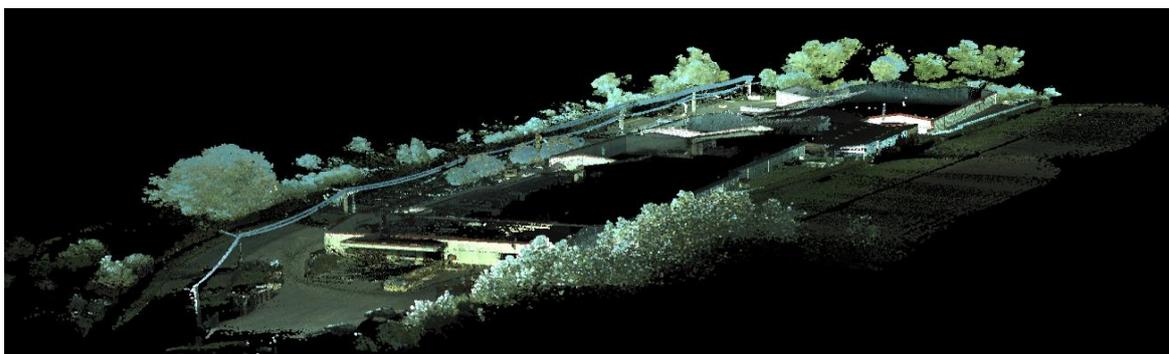


Figure 29 : nuage de points en visualisation RGB de l'usine (source : logiciel Pegasus Manager)

II.4.iii. Les résultats

Un levé classique des éléments (structures et machines) a été fait. La comparaison des mesures détermine la qualité des données produites en intérieur. Les écarts calculés sont effectués en projection CC47 afin de mettre en évidence la fidélité et l'exactitude absolues en levé intérieur (figure 30).

	E (en m)	N (en m)	H (en m)	2D (en m)	3D (en m)
Ecart maximum	0.14	0.17	0.27	0.22	0.29
Ecart minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Moyennes des écarts	0.03	0.03	0.03	0.05	0.06
Ecart type	0.03	0.04	0.05	0.05	0.07

Figure 30 : résultats du test intérieur

Lors de ce test, un recalage manuel a été appliqué afin d'affiner le résultat. Grâce aux algorithmes SLAM, il est possible de générer un ensemble de nuages cohérent visuellement car ils utilisent dans leur processus des fonctionnalités de recalage (« ICP »).

Cependant, lors de ce test, nous avons commencé à l'extérieur afin d'utiliser les données de l'antenne pour faire un géoréférencement direct (annexe 2). On observe une

dérive au fur et à mesure que le signal est perdu. En effectuant plusieurs sorties dans les quatre côtés de l'usine afin de récupérer des observations GNSS, on aurait peut être obtenu un géoréférencement direct beaucoup plus robuste. Ce dernier test n'a pas pu être effectué en raison de la production de l'usine.

Après le recalage, l'exactitude absolue est de 6 cm (en XYZ) et la fidélité absolue est de 7 cm. Ce sont des valeurs similaires aux résultats du protocole en extérieur. On retrouve les mêmes problématiques à savoir le bruit et l'impact de la trajectoire sur les résultats.



Figure 31 : nuage de points à l'intérieur de l'usine (source : logiciel Pegasus Manager)

II.5. Amélioration des nuages de points

Une fois les données produites, les techniciens contrôlent le nuage pour repérer les décalages importants à la fois visuellement et grâce à des points de contrôle. Cependant, pour chaque instant de la trajectoire calculée, le logiciel vient assembler les scans des profilomètres. Parfois, sur des zones compliquées, la trajectoire obtenue est de mauvaise qualité et on observe des décalages. Il est indispensable d'améliorer les assemblages des nuages grâce aux recalages.

II.5.i. Les recalages

On distingue deux types de recalage :

- le recalage relatif : il est possible de moyenniser les assemblages en sélectionnant dans chaque nuage des points visibles. Ensuite, il suffit d'effectuer une correspondance des points entre eux et de moyenniser leur position (figure 32). On peut également utiliser l'algorithme permettant de trouver interactivement des points de recalage communs dans chaque scan. Les résultats de cette dernière fonction ne sont pas concluants.



Figure 32 : décalage observé (source : logiciel Pegasus Manager)

Cependant, cette étape améliore sensiblement la précision relative (en moyennant les erreurs) mais surtout on obtient un meilleur résultat visuel.

- le recalage absolu : pour chaque chantier, les opérateurs lèvent des points en coordonnées pour vérifier la qualité du Lidar. Lorsque les résultats sortent des tolérances demandées, nous nous servons de certains de ces points pour recaler les nuages. Pour cela, nous sélectionnons les éléments levés dans les scans mais au lieu de les moyennner entre eux, nous leur affectons la valeur des points levés. Enfin, la dernière façon de recaler de manière absolue est d'utiliser un scan parfaitement recalé comme référence. On lève les points nécessaires au recalage directement dans le nuage et on les fait correspondre avec les nuages à améliorer. Une fois les transformations effectuées, le logiciel régénère une trajectoire. Il est donc possible d'obtenir un nuage de bonne qualité.

Le problème majeur de cette étape est la perte de temps considérable (plusieurs heures en fonction de la zone à recaler). Cependant, cette étape est indispensable. Par la suite, j'ai proposé d'utiliser les algorithmes du SLAM comme une troisième composante de positionnement afin d'obtenir un calcul beaucoup plus robuste.

II.5.ii. L'utilisation du SLAM

Comme je l'ai expliqué précédemment, le SLAM permet d'obtenir une trajectoire grâce aux données Lidar. Les conditions de son bon fonctionnement sont la détection de points communs ou de surfaces verticales. Les trajectoires dérivent dès que le système de GNSS se situe dans des zones où il y a de nombreux masques. Or, ces éléments peuvent nous permettre de faire fonctionner le SLAM. Les tests que j'ai menés permettent de réduire le temps de recalage puisque les trajectoires sont améliorées.

II.6. Conclusion et perspective

Le Backpack permet de générer une quantité importante de données contrairement aux systèmes statiques. Les tests m'ont permis de mettre en évidence la qualité des données. Les nuages ont un bruit moyen de 4 cm contre moins d'1 cm pour des scanners statiques. L'avantage du Backpack est le géoréférencement direct avec une valeur d'exactitude absolue de 4 cm avec la nouvelle antenne. L'étude a montré l'influence de la trajectoire sur les erreurs et les décalages des nuages. Il est possible de les corriger par du recalage. C'est sur ce dernier point que des évolutions majeures sont en cours de développement et notamment sur le recalage nuage-nuage afin d'optimiser les processus. Par la suite, je développerai les autres possibilités d'optimisation des procédures.

III. Automatisation des traitements

III.1. Présentation des besoins

Pour améliorer la chaîne de traitement, il a fallu définir une méthode pour déterminer les contraintes, les attentes et les besoins. Je me suis appuyé sur la méthode APTE (figure 33), c'est-à-dire, sur une méthode d'analyses fonctionnelles et sur le principe de l'analyse de la valeur. Cet outil permet de définir de manière claire les objectifs de l'étude.

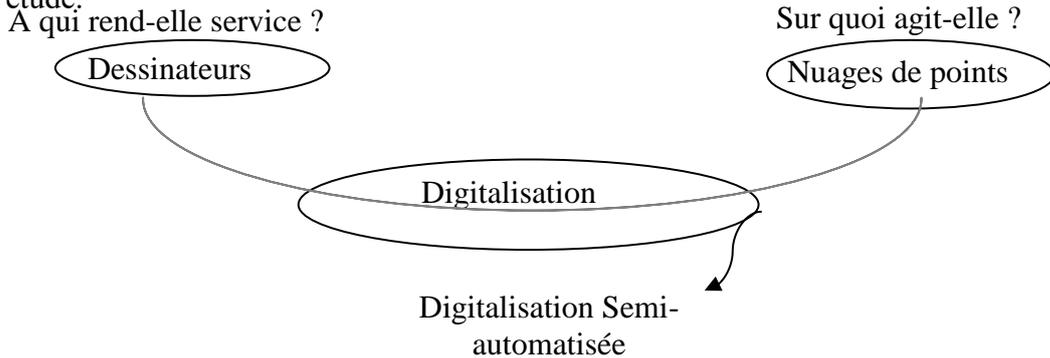


Figure 33 : méthode APTE

Le diagramme "pieuvre" (figure 34) est un outil permettant d'analyser graphiquement les besoins et d'identifier les fonctions du logiciel. L'intérêt est de mettre en évidence les points clés et de lier les relations entre elles.

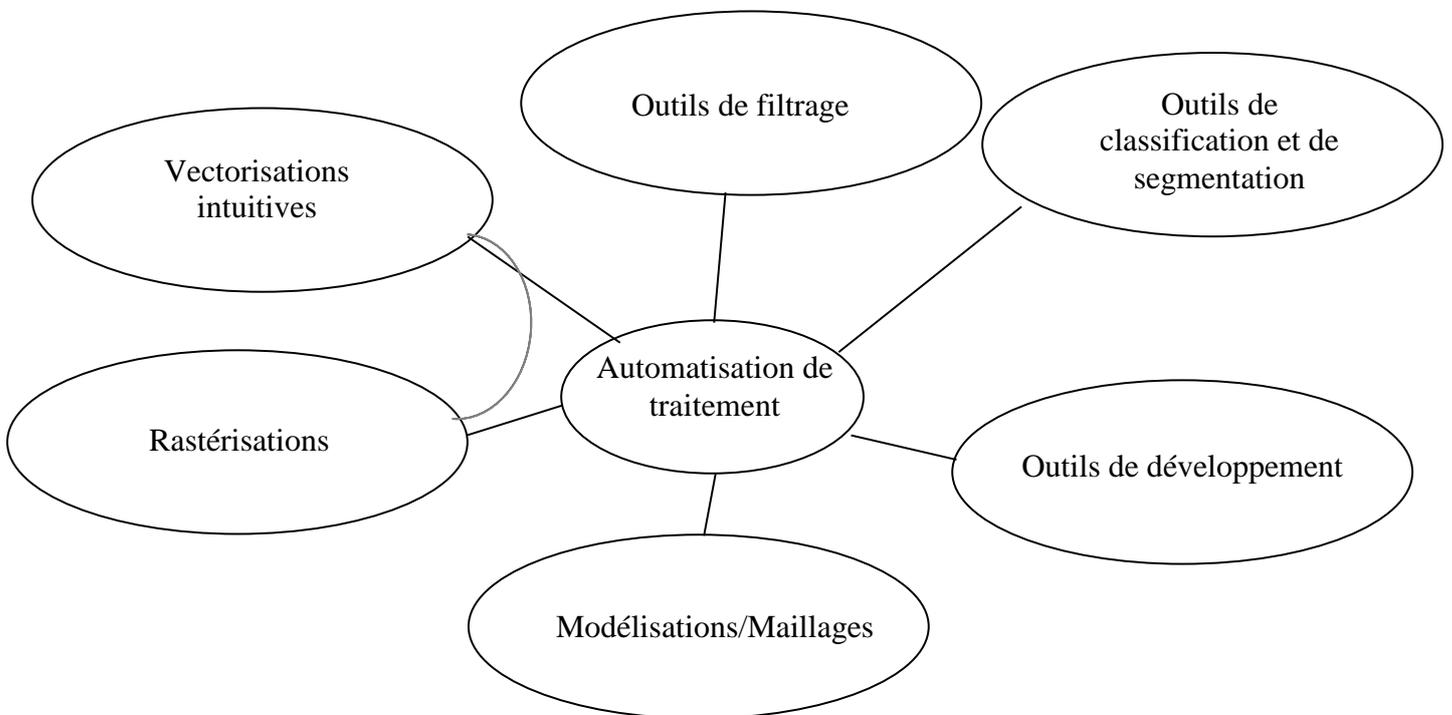


Figure 34 : diagramme pieuvre

III.2. Les logiciels

Après avoir défini mes contraintes, j'ai pu passer à l'étape de l'évaluation des logiciels. Deux types de logiciels ont été testés. Tout d'abord, des solutions libres et gratuites ont été évaluées. Cependant, des contraintes sont apparues très rapidement lorsque de trop grandes quantités de données sont utilisées. Ensuite, des logiciels propriétaires ont été testés pour pouvoir les intégrer dans une chaîne de traitement.

- CloudCompare : c'est un logiciel de traitement de nuages de points 3D initialement créé pour les comparaisons de nuages de points ou entre nuages et maillages. Il a été créé par Daniel Girardeau-Montaut pour une thèse sur la détection de changement sur des données géométriques tridimensionnelles. C'est le logiciel libre le plus performant que j'ai utilisé. En effet, il est possible de traiter des nuages et d'appliquer de nombreux filtres, de nombreux algorithmes pour une prise en main assez intuitive. Cependant, le logiciel a certaines limites en termes de performance lorsqu'il y a trop de données. Il est donc impossible de l'intégrer dans une chaîne de traitement.

- CompuTree : c'est une plateforme gratuite de traitement de nuages de points 3D¹ appuyée par l'ONF (Office National des forêts). C'est une alternative complètement différente à CloudCompare puisqu'elle propose d'autres outils d'extractions d'éléments spécifiques à la végétation. De plus, il est possible de créer une suite d'opérations. Cette plateforme se limite à des petits nuages de points. Lorsque l'on essaie d'insérer des millions de points, la visualisation est très compliquée et les traitements beaucoup plus longs, voire impossibles.

- Envi Lidar : Envi Lidar fait partie de la suite Envi, logiciel de traitement d'images. Il est possible de rasteriser un nuage de points puis d'effectuer les nombreux traitements d'Envi classique. Les fonctionnalités spécifiques d'Envi Lidar permettent de classifier les nuages et d'extraire des éléments tels que les bâtiments, les lignes électriques, les routes, pour ensuite les utiliser dans les outils SIG. L'avantage de ce logiciel est de proposer des outils prédéfinis. Cependant, on est limité à quelques extracteurs. Les résultats insuffisants que j'ai pu extraire ne justifiaient pas son prix relativement onéreux.

¹ Computree.onf.fr/?lang=fr, consulté le 10/04/2017

- TopoDot : c'est un produit américain qui développe des fonctionnalités pour digitaliser grâce à des nuages de points. Il se base sur le logiciel de CAO, Microstation, de Bentley. De nombreux outils permettent de draper des éléments, de créer des lignes à partir d'intensités et de dessiner avec des images. Le test fut pertinent. En revanche, la classification est limitée tout comme l'automatisation de certaines tâches. Malgré tout, il est possible de créer des automatisations grâce à des macros ou du développement spécifique Bentley. Deux problèmes majeurs sont ressortis de ce logiciel : son prix onéreux et les extracteurs limités.

- PointCAB : c'est un logiciel permettant de traiter un nombre important de nuages de points. Il permet de transformer le nuage en orthoimage et ainsi de vectoriser de manière semi-automatisée les plans ou les bâtiments. Il est très intéressant pour une utilisation intérieure mais les résultats pour digitaliser une voirie n'ont pas été satisfaisants. Enfin, ce logiciel ne permet pas de classier le nuage ni de créer une chaîne de traitement automatisée.

- Bentley Descartes : la société utilise principalement Microstation, de Bentley avec Atlog, pour digitaliser des plans. Je me suis intéressé aux produits de ce groupe. Le logiciel Bentley Descartes propose de nettoyer, filtrer et classier les nuages de points. De plus, des outils d'aide à la digitalisation sont proposés. Comme pour TopoDot, on retrouve des fonctionnalités communes comme le drapage de lignes ou de points très utile pour extraire la morphologie. Mais les outils proposés pour la classification sont limités et manquent de performance. C'est un logiciel couteux avec des outils et une automatisation insuffisants.

- 3D Reshaper : c'est un logiciel qui permet de traiter des nuages de points et d'extraire le sol. On peut ensuite digitaliser, mailler et texturer le nuage. C'est un logiciel très performant pour le traitement des bâtiments. Pour les voiries, les résultats ne sont pas très probants. La classification est limitée. Des scripts permettent d'automatiser des tâches à l'aide d'un SDK (« *Software Development Kit* »). Ce kit de développement peut également être utilisé pour créer ses propres outils. Cela nécessite des connaissances et du temps. Il faut également l'acheter sachant que la base est également couteuse.

- FME : c'est outil d'automatisation de tâches. C'est un ETL spatial (« *Extract, Transform and Load* », soit extraction, transformation et chargement), c'est-à-dire qu'il convertit des données afin de construire des processus d'automatisation. Il permet d'enchaîner des tâches, des scripts ou des transformations diverses. Il prend en charge un nombre important de données en entrée, tout comme en sortie (figure 35). C'est le meilleur outil de développement que j'ai pu tester. Si l'on recherche un outil performant, que l'on a des connaissances en langages python, C ou R, il est possible de traiter n'importe quel nuage. On peut même utiliser la librairie libre PCL (« *Point Cloud Library* »). Les freins majeurs sont la non connaissance dans ces langages et le temps consacré pour développer des transformers (en l'occurrence des routines). Il se compose d'une interface simple pour gérer les transformations grâce à des arborescences mais également d'un visualisateur.



Figure 35 : concept de FME (source : portaisig.org)

Les résultats de classifications que j'ai produits utilisaient les scripts de LASTOOL. Par conséquent en plus du prix de FME, il faut rajouter les compléments qui rendent le produit non compétitif. Il faut du temps pour développer ces scripts sachant que c'est un domaine en constante évolution.

- VisionLidar : c'est le dernier test que j'ai effectué. C'est un très bon compromis à toutes les précédentes solutions. Il permet de classifier les nuages et d'avoir accès aux paramètres. Il est possible de digitaliser avec ce logiciel. On crée une base de données puis on extrait des formes et des objets. L'impossibilité de développer ses propres outils demeure un point négatif. Pour compenser cet aspect, la société éditrice permet de prendre en charge les demandes pour les intégrer dans leur logiciel. Enfin, le développement est constant et offre une solution de « *Deep Learning* » pour améliorer considérablement l'automatisation des traitements. Concernant son tarif, c'est le meilleur rapport qualité/prix.

Les résultats de mes tests sont regroupés dans un tableau (figure 36). Il faut noter que cette comparaison est effectuée à partir de démonstrations, et de documents fournis par les éditeurs des logiciels. Les avis apportés sont purement personnels et retranscrivent les problématiques majeures rencontrées.

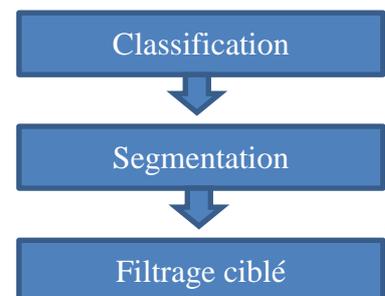
Logiciels	Filtrages	Segmentations	Vectorisation automatisée de la voirie	Automatisation	Avantages	Inconvénients	Autres
3D Reshaper	OUI	OUI	OUI	OUI	Modélisation/ Texturage	Manques de possibilités de développements pour automatiser les tâches	A tester sur 3D Reshaper SDK
Bentley DESCARTES	OUI	OUI	OUI	OUI	Outils CAO, environnement Bentley	Manques de performances pour la segmentation	
CloudCompare	OUI	OUI	NON	OUI	Libre et Gratuit	Quantité de données, prise en main du développement plus complexe	
CompuTree	OUI	OUI	NON	OUI	Libre et Gratuit	Quantités maximales de données insuffisantes	
ENVI Lidar	NON	OUI	NON	Possible	Outils de digitalisations	Traitements prédéfinis / Développements impossibles	Extractions de données limitées
FME	OUI	OUI	OUI	OUI	Modulable	Complexes	
Point CAB	NON	NON	Non / Bâtiments	OUI	Outils de digitalisations	Développements compliqués	Extractions de données limitées
TopoDot	OUI	NON	NON	OUI	Outils de digitalisations	Développements compliqués	Extractions de données limitées
VisionLIDAR	OUI	OUI	OUI	Oui	Simple et rapide	Impossible de créer des scripts ou macros pour automatiser des tâches	Compleet/ Integre les algorithmes de Deep Learning

Figure 36 : tableau de la comparaison des logiciels

Pour conclure, le logiciel FME est la solution offrant le plus de possibilités de développement. Cependant, pour obtenir des résultats équivalents aux autres logiciels, cela nécessite du temps et des notions en algorithmique. J'ai donc choisi d'utiliser le logiciel VisionLidar pour ses performances, ses possibilités d'automatisation ainsi que le niveau de développement de ses outils. Par la suite, je vais expliquer les différents traitements effectués que ce soient les traitements de base ou ceux plus spécifiques à des parties de nuage.

III.3. Un traitement de base

A partir des données Lidar ou après avoir transformé les données acquises par notre système, de multiples indicateurs peuvent être extraits. Pour extraire des informations, deux grandes possibilités s'offrent à moi : l'extraction directement avec les nuages de points ou à l'aide de rasters (soit à partir d'ortholidar ou des rasters par rapport à des surfaces). Dans les deux cas, un prétraitement est nécessaire. En effet, un nettoyage permet d'obtenir de meilleurs résultats. Pour l'effectuer, j'ai testé différents filtres et ciblé les traitements.



III.3.i. La classification

La première étape des traitements est de classer le nuage [AÏT-MANSOUR Mounir, 2014]. C'est une opération qui consiste à affecter une classe (en pratique une valeur à chaque point) ayant des propriétés communes. De nombreux travaux ont porté sur la recherche de l'automatisation des traitements de classification, que ce soit la segmentation par seuillage, par frontière ou par région [Reboul Remi, 2014], mais leurs résultats s'avèrent longs, compliqués à mettre en place et avec de nombreux artefacts. Dans ce cas précis, je me suis intéressé à intégrer les processus les plus efficaces sur de grandes quantités de données. Pour cela, j'ai commencé par effectuer un traitement pour séparer le sol du sursol. Pour réaliser cette première identification, différents algorithmes ont été testés. Tout d'abord, j'ai évalué l'algorithme CSF (« *Coth Simulation Filtering* ») sous CloudCompare. Le script retourne le nuage et vient draper le sol (figure 37).

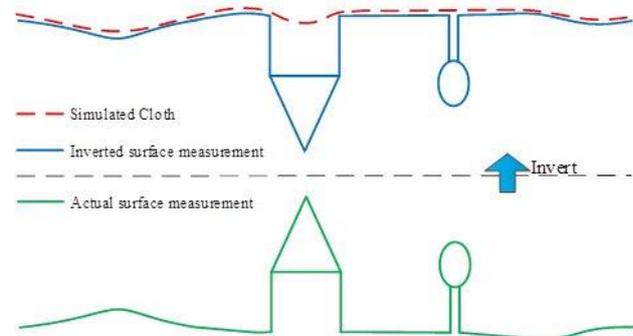


Figure 37 : principe du CSF (source : Cloudcompare.org, consulté le 12/04/2017)

Les résultats éliminent les problèmes de sol non classé dans le bon label. Cependant, je n'ai pas trouvé d'algorithme similaire dans des propositions de logiciels professionnels.

J'ai ensuite utilisé l'outil d'extraction du sol de VisionLidar. Il se base sur les variations de pente dans une cellule donnée. Un paramètre de tolérance de pente représente la plus grande pente acceptée dans un carré dont la taille est prédéfinie. A partir de ces paramètres, il peut définir une surface triangulée. Un dernier paramètre permet d'intégrer les points à une certaine distance de cette surface (figure 38).

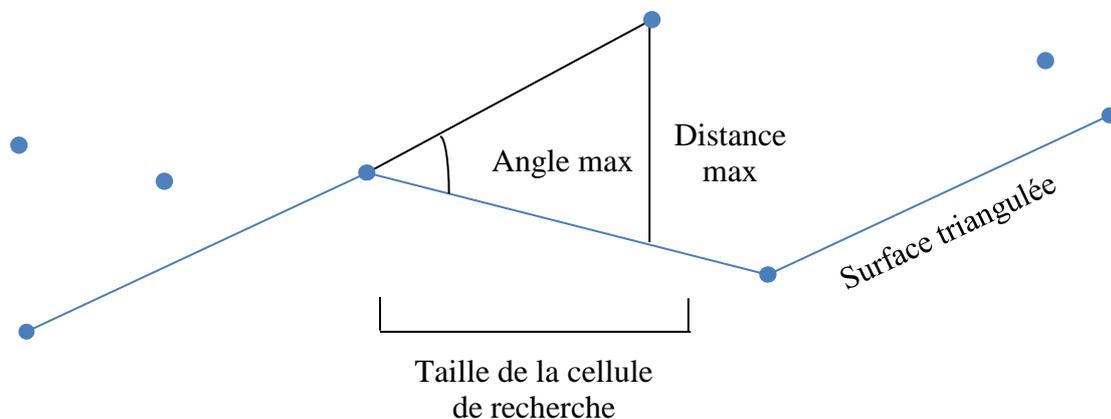


Figure 38: schéma descriptif de la méthode d'extraction du sol

La figure 39 montre le résultat de l'extraction du sol (en rouge, figure 39) :

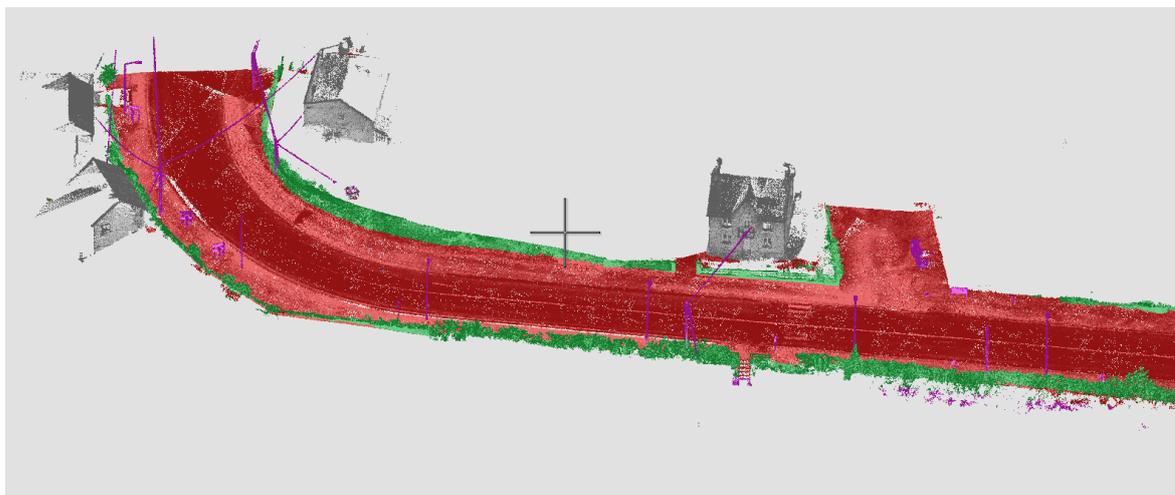


Figure 39 : nuage de points avec l'extraction du sol en rouge (source : logiciel VisionLidar)

Lorsque le sol est extrait, il est possible de traiter le sursol. En cachant le label sol, les véhicules et le bruit sur le sol sont immédiatement mis en évidence. On peut clôturer ces éléments et leur affecter la valeur « bruit » ou « véhicules ». D'autres algorithmes permettent d'extraire les valeurs aberrantes (ou bruit), la végétation ou les bâtiments. Un affinage manuel permet d'obtenir un résultat visuel plus intéressant.

Pour réaliser la digitalisation des voiries, une classification spécifique a été mise en place. Pour digitaliser, les opérateurs ont besoin de cacher la végétation et les éléments en hauteur comme les lignes électriques ou les toitures. De plus, ils avaient besoin de l'emprise des bâtiments et des limites de propriétés visuelles. Pour répondre à ces demandes, l'extracteur de sol a été appliqué avec une forte tolérance de distance (1.3 m). Il a été donc possible d'obtenir le sol ainsi que les éléments situés jusqu'à 1.3 m au-dessus de celui-ci. Un filtrage plus fin a été réappliqué sur la partie extraite pour obtenir la vraie surface du sol. Les éléments compris entre le sol et 1.3 m sont affectés dans une classe annexe (en l'occurrence emprise). Ensuite, les techniciens ont pu dessiner avec un nuage classifié de trois groupes, le sol, le sursol de 1.3 m et les parties supérieures. Cela leur a permis un gain de temps lors de la digitalisation en cachant les masques de végétations tout en gardant l'intégralité des données.

Une seconde approche visant à classer les blocs entre eux m'a permis d'approfondir cette étape afin d'obtenir une organisation logique des éléments scannés. En effet, pour réaliser une bonne segmentation automatisée, il faut appliquer un algorithme trouvant des points de similarité entre les nuages. A l'aide du logiciel VisionLidar, pour obtenir un résultat plus précis, un algorithme de « *Deep Learning* » a été utilisé. Le « *Deep Learning* » (ou l'apprentissage profond) est un système d'apprentissage et de classification basé sur des « réseaux de neurones artificiels » [LeMonde.fr, 24/07/2015, Morgane Tual]. C'est une méthode d'apprentissage automatique mais contrairement aux autres qui ont besoin d'un modèle à l'entrée de leur algorithme, celle-ci va corrélérer les caractéristiques communes des ensembles de points (« *cluster* »). Elle va donc au fur et à mesure du temps enrichir ses propres connaissances et ainsi améliorer continuellement la classification. Dans VisionLidar, la première étape est de segmenter le nuage en « *cluster* », ou groupes d'éléments. Ensuite, l'algorithme de « *Deep Learning* » va définir les critères communs entre les éléments pour définir des classes.

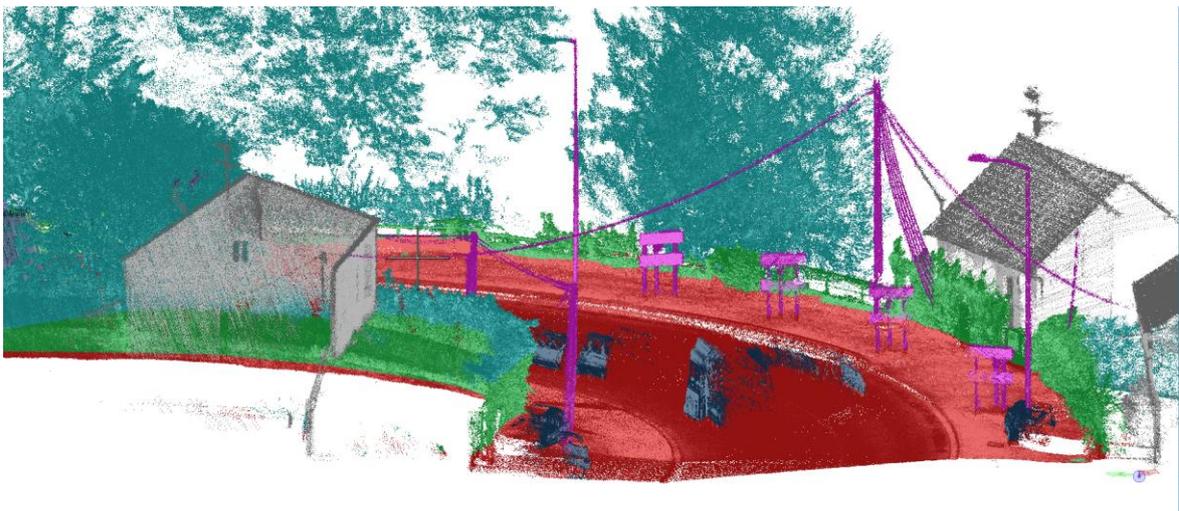


Figure 40 : nuage de points entièrement classifié (source : logiciel VisionLidar)

III.3.ii. La segmentation

Une fois les points affectés d'un label, on peut facilement extraire des sous-blocs de nuages indépendants. Ainsi, cette étape permet de couper le nuage de manière cohérente et d'appliquer des outils particuliers en fonction de la nature des éléments. La segmentation permet également d'éliminer dans un nuage les points classés dans le bruit ou les éléments non pertinents pour la demande de la mission, comme les véhicules, les panneaux et les végétations.

III.3.iii. Le filtrage

Une fois la segmentation effectuée, des filtres spécifiques pour le bruit ont été appliqués en fonction de chaque classe. Le filtrage est une étape nécessaire pour obtenir des données cohérentes et faciliter les exploitations puisque les mesures effectuées sont entachées d'un bruit. Ce bruit est dû à la divergence du faisceau du laser. Différentes méthodes de filtrage peuvent être utilisées :

- méthodes de filtrage basées sur une approche statistique (exemple : les moindres carrés ou le barycentre d'un cube ou d'un voxel) ;
- méthodes de filtre moyen et médian (ex: Laplacien ou le flot à courbure moyenne).

Concernant le chantier des voiries, un filtre a été appliqué afin de décimer le sursol utile à la compréhension de la nature des éléments pour les opérateurs. Ce filtrage s'effectue par une méthode statistique qui consiste à conserver un point dans un cube (ou voxel) dont la taille des arêtes est prédéfinie. Ainsi, le poids de mes fichiers a été diminué. C'est un élément qui freine certains digitaliseurs en fonction de leur poste de travail. Avec des données plus épurées, les logiciels deviennent plus efficaces et donc les traitements sont optimisés. Par la suite, des filtres de lissage de surface ont été appliqués (« *smoothing* »). On peut éliminer statistiquement le bruit en plaçant un plan par moindre carré. L'intérêt n'est pas d'augmenter la qualité des données mais d'obtenir des nuages exploitables dans d'autres usages comme la modélisation et le maillage.

III.3.iv. L'extraction d'indicateurs

Une fois le traitement de base effectué, l'extraction d'indicateurs spécifiques a pu commencer. Pour l'extraction directement à partir des données Lidar, les outils proposés par les éditeurs ont été utilisés. Pour extraire la morphologie, des algorithmes de semi-automatisation permettent d'obtenir des formes (notamment en utilisant des algorithmes de Hough ou de Ransac).

Avec VisionLidar, il est possible d'utiliser la valeur du retour d'intensité (figure 41) de

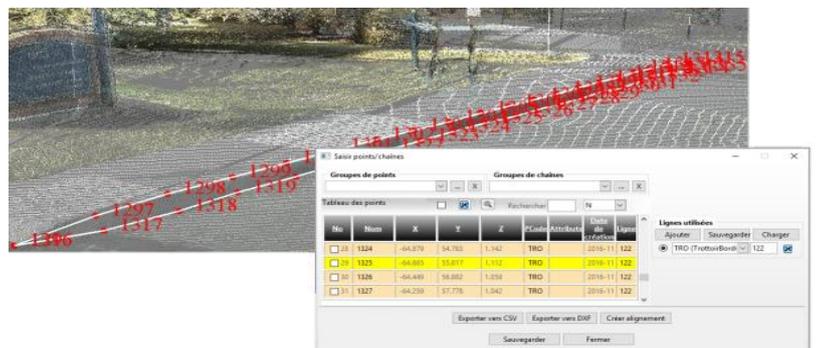


Figure 41 : détection de la bordure (source : logiciel VisionLidar)

l'impulsion laser pour tracer des lignes, comme les trottoirs, les lignes blanches... etc. Pour créer ces lignes, le script définit une chaîne en fonction de la valeur de l'intensité. Il prend également en compte la variation d'élévation, en fonction de la taille du segment et d'une tolérance de direction. Cela nécessite un réglage particulier en fonction des chantiers et des conditions météorologiques. L'outil est donc efficace pour des linéaires importants.

Le second point intéressant a été la production de Modèle Numérique de Terrain (MNT). A partir de ce modèle, les lignes de rupture ou bien encore les lignes de niveau ont pu être extraites. En effet, une fois que le sol est classifié, il est beaucoup plus simple d'obtenir un MNT en triangulant avec un certain pas (figure 42). Enfin, à partir de la surface, il est possible de définir des courbes de niveau en fonction de l'altitude et des intervalles souhaités.

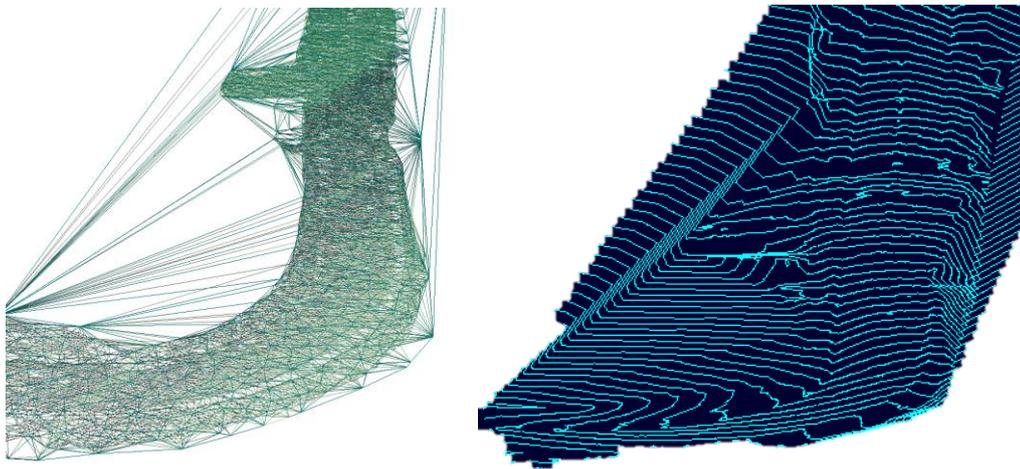


Figure 42 : extraction d'un MNT et des lignes de niveau (source : logiciel VisionLidar)

Pour le développement d'algorithmes d'automatisation, je me suis concentré sur les traitements rasters des données.

III.4. Les différents indicateurs

Pour ce stage, je me suis intéressé à extraire trois types d'indicateurs de caractérisation d'un lieu : la morphologie, les pentes et dénivelés, et la rugosité.

Le choix de ces indicateurs a été fait en fonction de leur utilité. La morphologie me permet de dessiner la topographie générale des lieux. Les pentes et dénivelés sont demandés par les clients. Enfin, pour extraire des surfaces communes ou des objets, j'ai voulu développer l'indicateur de rugosité.

En général, pour extraire des indicateurs, la principale difficulté est d'associer un label à chaque point d'un nuage ou à chaque pixel. Pour cela, il existe beaucoup d'algorithmes notamment des algorithmes de classification d'images.

III.4.i. La morphologie

Pour mettre en évidence la morphologie, les données ont été rastérisées avant d'extraire les contours des éléments à l'aide de Qgis. Qgis est un système d'information géographique permettant de traiter des données vecteurs et rasters. De nombreuses fonctionnalités de ce logiciel sont intéressantes. Pour intégrer mes points dans cet environnement, une zone restreinte a dû être sélectionnée et le nuage a été filtré afin de diminuer la quantité de points. La particularité d'un tel logiciel est la possibilité de traiter les valeurs attributaires des données. Ces points se composent initialement des valeurs de coordonnées, des valeurs RGB et des valeurs d'intensité. De plus, il m'était possible de créer d'autres champs afin d'établir mes propres indicateurs.

Une classification en fonction des différentes couleurs du raster peut être faite pour mettre en évidence certains éléments. Il suffit ensuite d'extraire les contours des objets lorsque la classification est correctement produite. Cependant, le résultat n'était pas satisfaisant.

En accentuant les valeurs des altitudes directement en format vectoriel avant de les rastériser, on obtient de meilleurs résultats.

L'extracteur de relief de Qgis permet également de mettre en évidence les aspérités du terrain (figure 43).

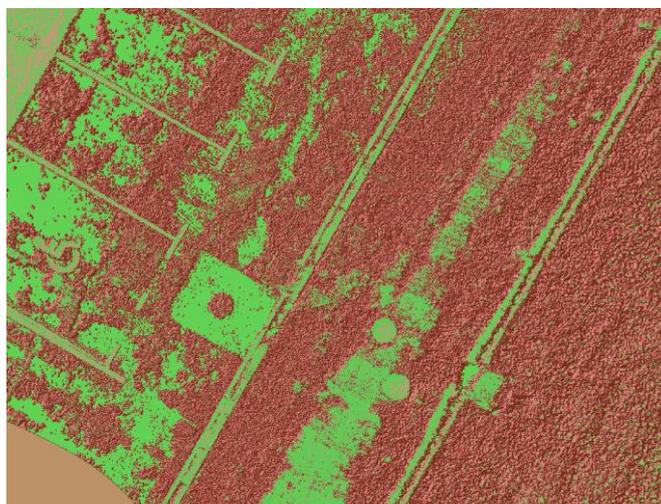


Figure 43 : extraction de la rugosité (source : logiciel Qgis)

III.4.ii. Les pentes et dénivelés

Concernant les pentes et les dénivelés, un nouveau traitement de mes points a été réalisé sous Qgis. Des groupes de points de même altitude ont été créés afin de leur affecter une valeur. Un raster MNT a été extrait en fonction de cette valeur. C'est un travail qui nécessite une réflexion dans le choix des intervalles. Or, j'étais à la recherche d'une alternative automatisant les extractions. C'est pour cette raison que cette solution n'a pas été retenue.

L'autre outil testé est l'extracteur de pente de Qgis. Un raster MNT a été créé puis l'algorithme a été appliqué. Il effectue la dérivée première de l'élévation.

III.4.iii. La rugosité

Pour extraire cet indicateur, il a fallu définir le terme rugosité : la rugosité est une caractéristique de l'état de la surface. Pour la mettre en évidence, on peut utiliser différentes formes :

- les données d'intensité Lidar :



Figure 44 : schéma de deux rayons laser heurtant deux surfaces différentes

En effet, on peut très facilement remarquer des similarités dans le retour de l'impulsion laser ayant généré le point sur une même surface. A partir de ce constat, l'objectif était de produire des rasters d'intensité et d'extraire les contours des pixels ayant des compositions de pixels communes. Pour effectuer cette extraction, les points dont l'intensité se situe dans des intervalles communs ont été calculés grâce aux données attributaires des nuages. Cette sélection est exportée. Il suffit de rasteriser la partie et d'appliquer un algorithme pour avoir le contour de l'élément. L'inconvénient de cette méthode est la distance entre l'objet et le capteur qui influe sur l'intensité du signal [POULLAIN Emilie, 2013].

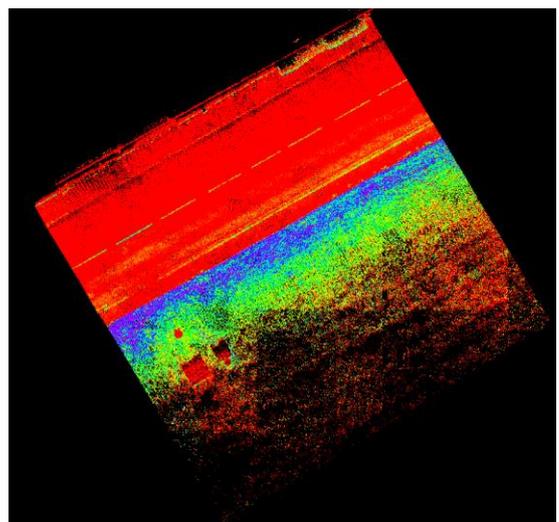


Figure 45 : nuage de points affiché avec l'intensité (source : logiciel Atlog)

- un rapport de surfaces :

$$Rugosité = \frac{Surface}{Surface\ plane}$$

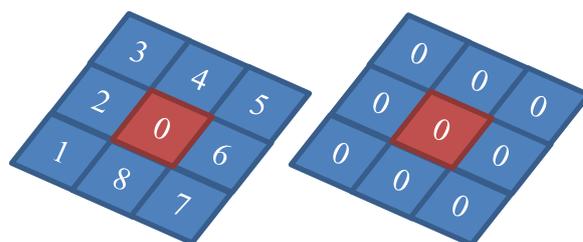


Figure 46 : schéma conceptuel du pixel avec des valeurs d'altitude différentes à gauche et une surface

A l'aide d'un raster composé des altitudes, on effectue pour le pixel central le rapport surface réelle à partir des valeurs de l'altitude composées des 8 pixels connexes au pixel principal sur une surface plane. Cette surface peut correspondre à la valeur de l'altitude maximale ou minimale des 9 pixels ou de la valeur même du pixel étudié.

La seconde méthode utilisant les surfaces consiste à produire un MNT grâce au nuage de points. Une surface plane passant par le point le plus haut a été générée. Enfin, grâce au logiciel CloudCompare, la différence de mes deux surfaces a été définie (figure 47).

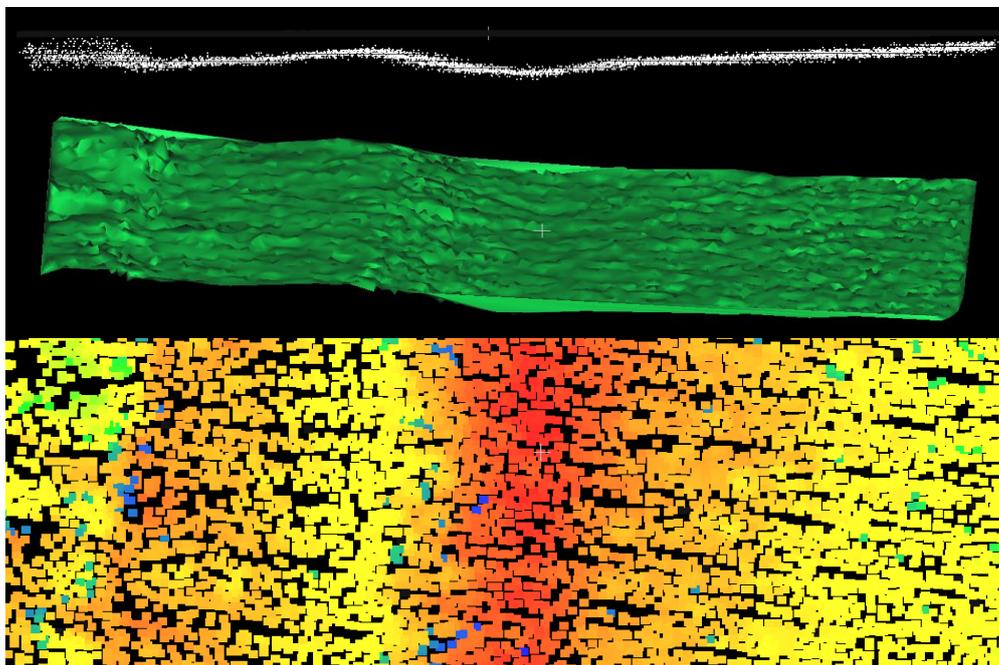


Figure 47 : extraction de l'indicateur de rugosité (source : logiciel CloudCompare)

La colorisation des variations de l'indice calculé permet d'apprécier la rugosité des espaces. Pour chacune des techniques, il suffit ensuite d'extraire les labels en fonction des différents paramètres communs.

- l'indicateur de rugosité de terrain ou l'index de rugosité (TRI) :

Dans le menu raster de Qgis, il est également possible de réaliser des extractions spécifiques telles que la rugosité. L'algorithme calcule la moyenne des dénivelés entre la cellule centrale et ses voisins. Ainsi, le résultat permet d'accentuer le relief.

Pour automatiser les différents traitements sous Qgis, l'outil modeleur est utilisé pour définir des actions et des traitements paramétrés (annexe 3). Cependant, cette solution ne permet pas de traiter les tâches sous d'autres logiciels comme CloudCompare. Pour une automatisation complète des traitements raster, FME est un produit qui offre des possibilités plus performantes puisque de nombreux algorithmes de transformation sont déjà intégrés en plus des traitements vectoriels.

III.4.iv. Les problématiques rencontrées

Très rapidement une première problématique est apparue. La résolution des nuages était différente en fonction de la distance surface/capteur. Pour remédier à ce problème, deux possibilités en fonction des types de cas rencontrés m'étaient offertes.

- le sous-échantillonnage qui consiste à décimer le nuage ou le raster. Cependant, ce filtrage a tendance à supprimer trop de petits détails.

- le sur-échantillonnage qui est une méthode permettant d'augmenter le nombre de points ou de pixels grâce à une interpolation. On privilégie cette méthode pour la détection des petits éléments.

La seconde problématique de cette partie a été la performance des calculs lorsque l'on traite une quantité importante de données. Pour réaliser les résultats, il a fallu isoler des petites parties de nuage pour pouvoir faire fonctionner les logiciels avec une cadence normale pour une chaîne de traitement. En revanche, les logiciels ne fonctionnaient plus lorsque la quantité de données intégrées était trop volumineuse.

Finalement, les résultats ne sont pas assez satisfaisants pour l'exploitation de ces données. Il permet seulement de mettre en évidence les possibilités d'extraction de données. Le travail sur la visualisation de l'intensité permet malgré tout aux opérateurs digitalisant de mettre en évidence les différences de surfaces.

IV. Gestion et valorisation des données

IV.1. Le suivi des données

Lors de ce stage, j'ai rencontré une problématique majeure : le suivi des données. De nombreux intervenants peuvent être amenés à traiter les données, à les suivre mais également à les modifier. Cependant, aucun outil performant n'était mis en place pour suivre de manière efficace ces données. L'objectif premier de ce suivi est une meilleure organisation entre les techniciens faisant l'acquisition sur le terrain, les traitements sur les nuages bruts et surtout entre les dessinateurs digitalisant. Un suivi des étapes était donc nécessaire. Pour améliorer l'organisation des tâches et la compréhension des différents aléas des missions (c'est-à-dire les multiples retours), j'ai décidé de développer une interface intuitive liée à une base de données.

Pour réaliser cet outil, l'utilisation d'Excel et ses possibilités de développement d'interfaces grâce à « *Visual Basic Application* » a été privilégiée. De la même manière que pour les tests des logiciels, et dans le but de mettre en place une interface complète, il a fallu définir les besoins, les objectifs et les moyens.

Pour établir les besoins, je me suis appuyé sur mes propres expériences et problématiques rencontrées lors de l'utilisation de la chaîne de traitement. De plus, j'ai demandé à travers un questionnaire les attentes de l'ensemble des intervenants de la société, c'est-à-dire à la direction, aux techniciens sur le terrain mais également aux personnes traitant au bureau (annexe 4). Trois axes ont pu se dégager :

- l'amélioration du suivi global des dossiers des traitements Lidar
- l'amélioration des suivis sur le terrain
- l'amélioration des suivis entre techniciens du bureau effectuant le traitement.

J'ai choisi de développer une unique solution car pour chacun des trois axes, on peut ressortir un problème commun : le suivi. Ainsi, une base de données permettrait en partie de le résoudre.

Pour développer une solution efficace et adoptable par l'ensemble des collaborateurs, différentes interfaces ont été créées en fonction de ces trois axes sous « *Visual Basic Application* » d'Excel. En effet, à partir de connaissances de base en programmation, il est simple de prendre en main ce langage. Pour créer des interfaces, il y

a des outils de création qui permettent de gagner du temps. Il reste ensuite à lier des cellules et à ajouter des raccourcis.

IV.1.i. L'interface du suivi global

Présentation

Pour cette interface, la demande était d'avoir une vision globale sur les dossiers pour connaître leurs états d'avancement et d'acquérir un véritable retour sur le temps effectué pour optimiser les connaissances. Cela permet d'établir de meilleurs devis et de mieux superviser les traitements. La figure 48 montre l'interface de la gestion globale des dossiers.

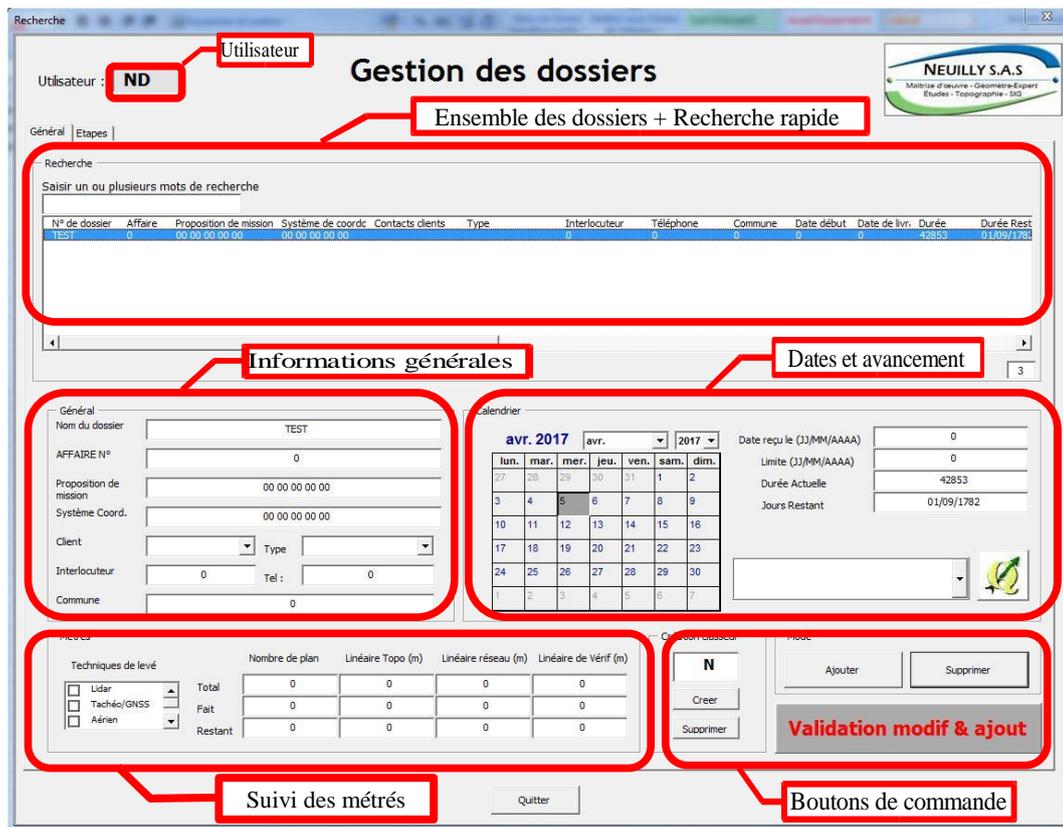


Figure 48 : interface de la gestion globale en VBA (source : logiciel Excel)

La partie recherche rapide a été également une demande particulière de la hiérarchie. Je me suis appuyé sur des algorithmes de Jacques Bois Gontier² (annexe 5).

²http://boisgontierjacques.free.fr/pages_site/formulairebases.htm, consulté le 04/04/2017

Ainsi à partir de cet algorithme, il est possible de créer, modifier, supprimer et de rechercher facilement des dossiers. L'intégration des commandes permettant d'ajouter une nouvelle feuille (ou base de données) avec l'ensemble des colonnes nécessaires a été mise au point. Dans l'optimisation du programme, un nouvel Excel a été ajouté afin de créer une indépendance entre les fichiers et donc de pouvoir travailler simultanément.

Dans un second onglet, il est possible de visualiser l'ensemble de l'avancement du dossier sélectionné pour permettre une meilleure connaissance des détails de celui-ci (figure 49).

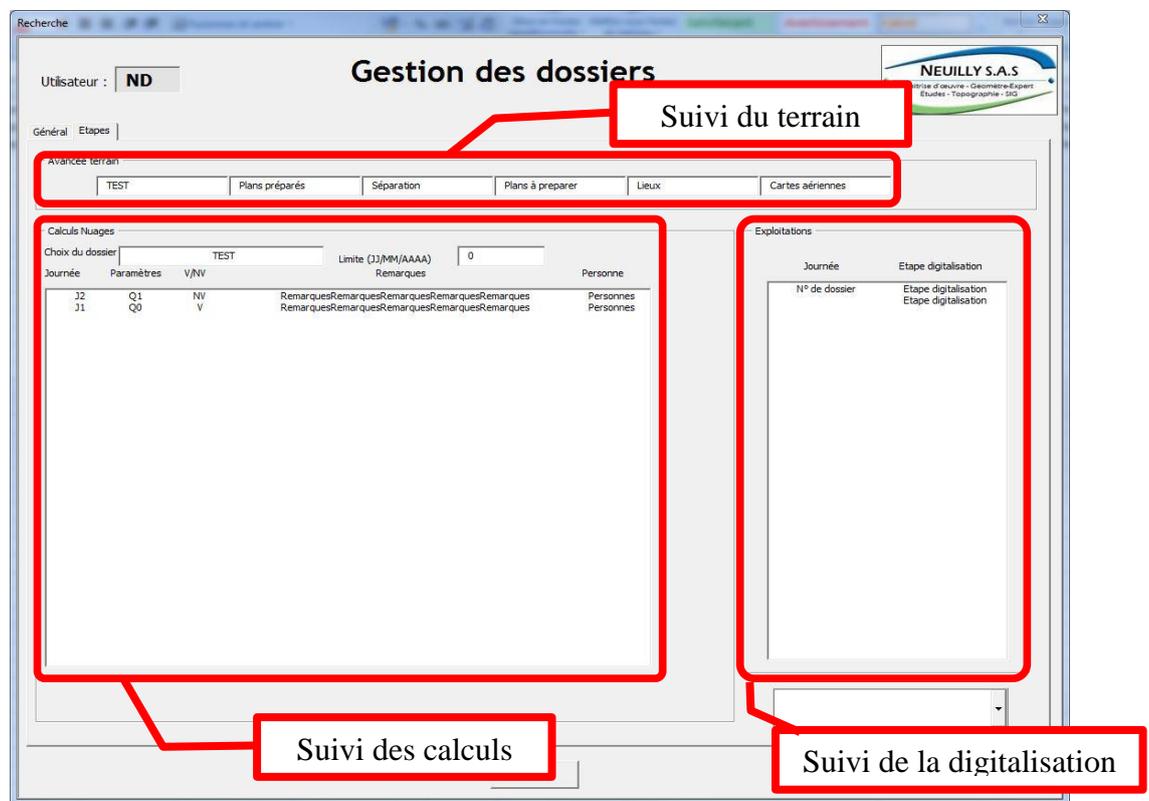


Figure 49 : interface de la gestion détaillée (source : logiciel Excel)

Perspectives

L'objectif de cette interface est de la faire évoluer comme un vrai outil de gestion. A partir des données de temps, des statistiques peuvent être établies. L'autre perspective est la mise en place d'une procédure permettant de distribuer les dossiers aux diverses agences et de connaître les points à améliorer grâce aux remarques.

IV.1.ii. Une interface pour améliorer le travail

Présentation

La demande était de créer un outil simple mais complet, facile à prendre en main et permettant de gagner du temps à la fois sur le terrain et au bureau. Ainsi, l'intégralité des étapes a été regroupée au sein d'une même fenêtre (figure 50). Tous les raccourcis sont intégrés dans l'interface. Pour chaque étape, l'opérateur peut ouvrir une nouvelle fenêtre qui est dédiée à chaque dossier. Tous les raccourcis nécessaires au bon fonctionnement des étapes ont été également rassemblés.

Détails de l'interface

L'ensemble du traitement nécessite un nombre important de logiciels. Pour gagner en temps et en efficacité, les raccourcis sur l'interface de gestion sont regroupés.

L'encadré "Mission Terrain" permet de vérifier les éléments avant le terrain puis à l'aide d'une interface complémentaire (options), de générer les trajectoires (voir annexe 5). En regroupant les outils, l'opérateur peut effectuer très rapidement le calcul sur le terrain et ainsi cibler les zones à recalcer.

Le gestionnaire est très utile pour les calculs des nuages. En effet, le temps machine peut dépasser très facilement plusieurs heures. Pour tenir à jour l'évolution des calculs en fonction des différentes journées d'acquisition et la diffuser à l'ensemble des collaborateurs, une base de données était donc nécessaire. Les raccourcis sont regroupés.

Pour la gestion de l'ensemble des dessinateurs, un suivi des données à la fois chiffré et spatial était demandé. Un tableau a été établi pour suivre l'avancement en fonction des données spatiales (sous Qgis).

Concernant les différentes interfaces pour le calcul des nuages, j'ai respecté la même organisation. Tout d'abord, les raccourcis ont été intégrés. Pour chaque dossier, il y a différentes

journées d'acquisition. Une liste de ces journées en incluant les paramètres spécifiques pour chaque étape a été établie. Un espace est offert pour laisser la possibilité d'ajouter des remarques (annexe 5 pour les interfaces de chaque étape).

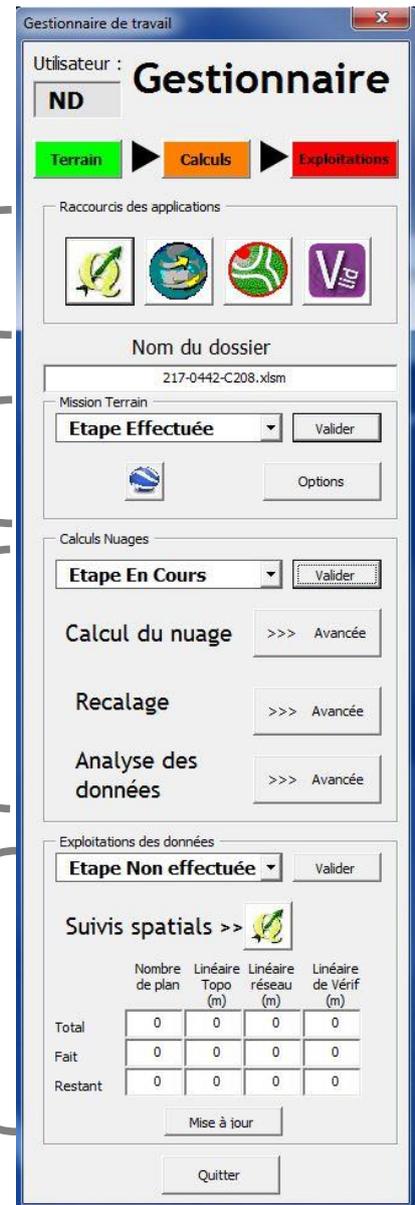


Figure 50 : interface de travail (source : logiciel Excel)

Le développement de plugin Qgis

Pour gérer les données de manière spatiale, Qgis a été utilisé. En effet, ce logiciel est libre et peut être utilisé sur l'ensemble des postes à la fois avec les unités centrales des bureaux ou avec les tablettes numériques sur le terrain. Pour gérer l'avancée des dossiers sur le terrain, le développement d'un plugin a été fait (annexe 6). L'objectif de ce plugin est de rentrer de manière fluide et rapide l'information de l'avancée du chantier (« Non effectuée », « En cours », « Terminée »). L'idée était de partir des cadres représentant les plans à lever, d'ajouter un champ « Etats » et de le renseigner. Cependant, utiliser la calculatrice de champ est une étape longue et peu intuitive pour l'ensemble des techniciens. Des plugins ont été développés afin de permettre aux collaborateurs de compléter facilement un champ. Pour la mise à jour de mes données, le plugin « QuickMultiAttributeEdit » a servi de base puisqu'il permet de remplir les champs rapidement. Mon organigramme de programmation a été mis en place avec les fonctionnalités du plugin (figure 51).

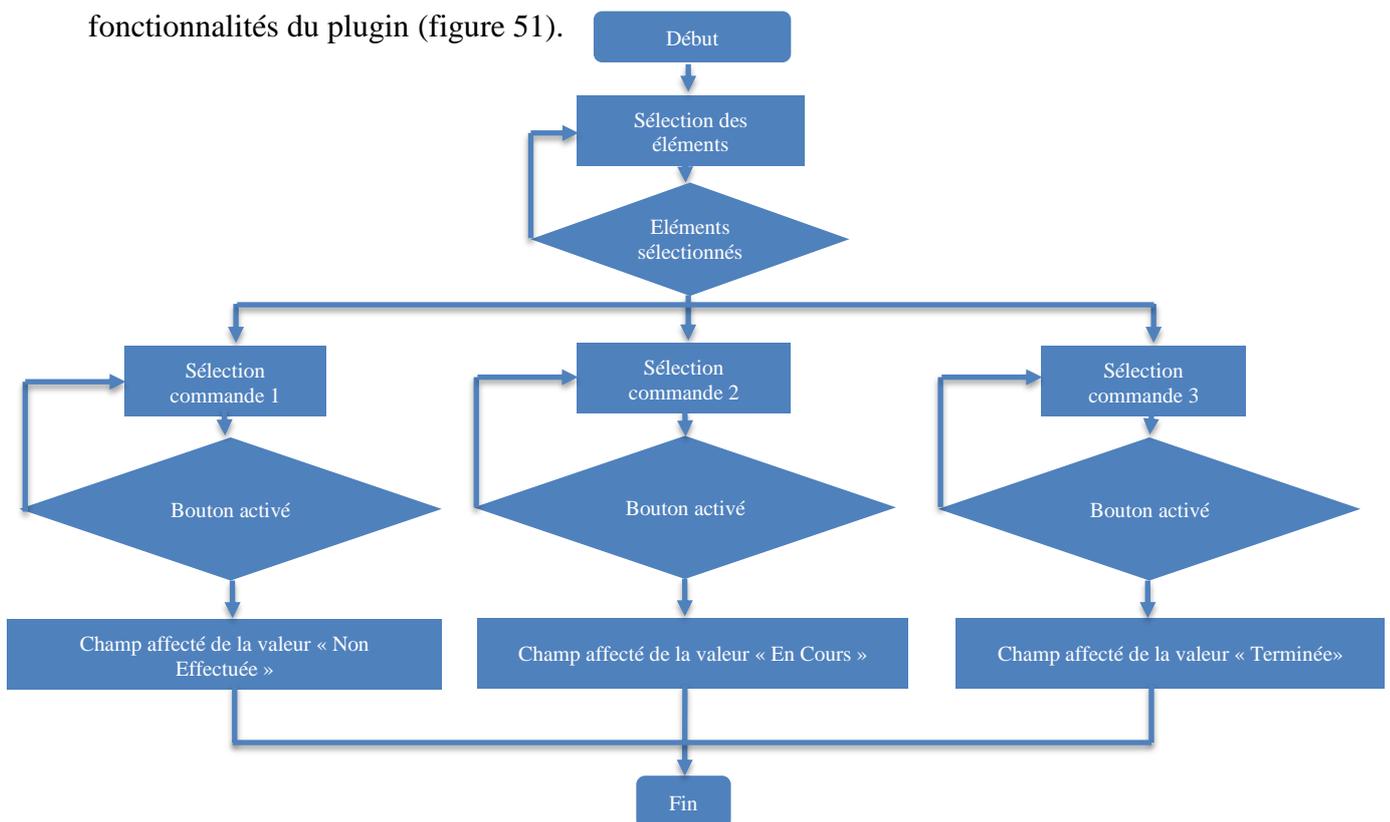


Figure 51 : organigramme de l'algorithme de Qgis

Enfin, la représentation des symboles et des descripteurs a pu être modifiée. Pour des raisons pratiques, les collaborateurs m'ont demandé de pouvoir mettre ces informations directement sur plusieurs objets sélectionnés. L'insertion des plugins « Sélections multiples » et « Désélection » à mes outils a été rajoutée. Puis, une barre

d'outils (« *toolbar* ») regroupant toutes ces fonctionnalités a été établie (figure 52). Trois commandes ont été créées avec trois boutons, pour simplifier, et mettre à jour le champ « Etats ». Une fois les données « Etats » complétées, une passerelle entre les tableurs au format .csv et ma base de données a été développée. L'algorithme lit le fichier et rassemble les données dans les bonnes c

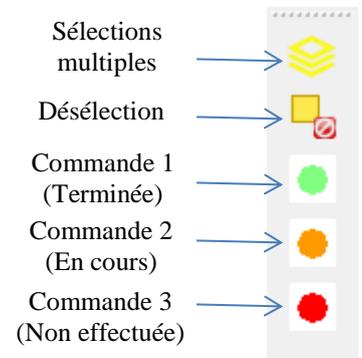


Figure 52 : toolbar développée (source : logiciel Qgis)

Le rapport de qualité

Le dernier point mis en place dans le processus d'automatisation est la création d'un rapport de qualité. Actuellement, les données sont contrôlées puis validées par les techniciens. Cependant, aucune trace des recalages ou contrôles n'est établie. A partir du fichier au format .csv édité lorsque l'opérateur effectue un recalage ou un contrôle, il est possible de récupérer les écarts enregistrés entre les valeurs sélectionnées. Une routine a été créée sous Excel calculant les moyennes, les valeurs maximales et minimales, les écarts types et les écarts moyens pour les valeurs planimétriques et altimétriques. Lors de la mise en route de l'algorithme, un formulaire s'ouvre pour indiquer à l'opérateur des informations complémentaires comme les tolérances et les remarques spécifiques (telles que la projection et les problèmes rencontrés). L'export des données est possible dans deux formats de fichiers (Excel et Html) lisibles par l'ensemble des collaborateurs (annexe 7). Par la suite, ce fichier pourra être traité par le gestionnaire précédant afin d'automatiser la saisie de la base de données.

En conclusion, ces solutions permettent d'optimiser l'intégralité de la chaîne de traitement en offrant une base commune regroupant l'ensemble des informations pour la réussite du développement de ce domaine. De plus, l'intégration des informations telles que les paramètres à rentrer dans les logiciels permet de démocratiser au sein même du bureau l'ensemble des outils qui peut sembler très complexe à prendre en main même s'il nécessite des connaissances plus poussées pour des cas particuliers.

En termes de perspective, nous aimerions développer ces interfaces dans un autre langage (Delphi) afin de résoudre un problème de transmission de données. En effet, il est impossible d'ouvrir un Excel sur plusieurs ordinateurs simultanément. La solution est de développer une autre application dans un autre langage que je n'ai pas pu finaliser par manque de temps. Par conséquent, il faut actuellement passer par une étape supplémentaire pour concaténer les résultats.

IV.2. Valorisations des données

IV.2.i. Maquettes numériques

Présentation du BIM

De nos jours, un développement accru se déroule dans le secteur de la modélisation des maquettes numériques et des processus BIM.

Le BIM est avant tout, un processus de travail, c'est-à-dire un outil, permettant la collaboration des intervenants et l'interopérabilité des données. Ce processus est basé sur la représentation d'un bâtiment, d'une infrastructure ou plus généralement, d'un espace à laquelle on ajoute des informations complémentaires sous forme de bases de données. Cela permet à la fois de centraliser l'ensemble des informations, de tenir à jour un projet, un modèle. On peut également l'utiliser pour optimiser les étapes des projets, des constructions, voire des gestions. C'est une véritable carte d'identité sur le cycle de vie d'un bâtiment (figure 53).

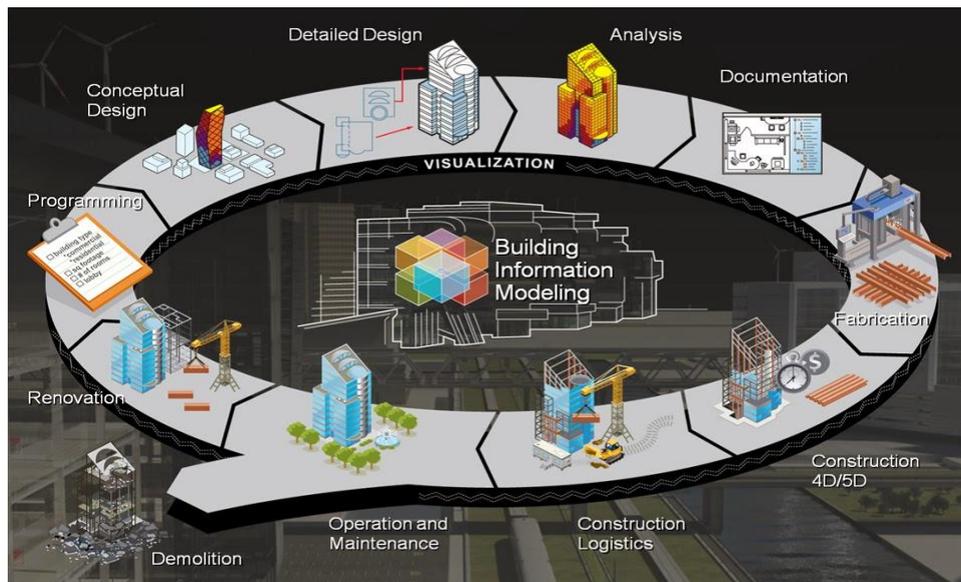


Figure 53 : processus BIM du cycle de vie d'un bâtiment (source : Objectif-bim.org)

On retrouve dans ces modèles la notion de multiples dimensions (ex : 3D, 4D, 5D...) qui prend en compte non seulement l'espace, mais également les paramètres du temps pour les planifications, les simulations, et le calcul des coûts. Le BIM répond également à la demande d'intégration des enjeux environnementaux, des aspects thermiques et des problématiques de gestion.

Sous l'appellation BIM, on peut distinguer différentes notions :

- « *Building Information Modeling* » : cela représente les procédés permettant de générer un modèle en incluant les « *smart data* », c'est-à-dire en intégrant des informations au sein même du modèle avec une véritable base de données avec une hiérarchie bien définie;

- « *Building Information Model* » : cela correspond à la base de données qui regroupe les renseignements nécessaires aux projets (des plans, des descriptions d'objets...);

- « *Building Information Management* » : c'est la notion qui intègre l'utilisation de la maquette, les échanges jusqu'aux différents intervenants avec un format spécifique, avec l'extension IFC (« *Industry Foundation Classes* »).

Pour modéliser, il y a différentes techniques, de la plus classique (de manière « artistique » ou conceptuelle sans mesure ou avec un simple mètre), à des solutions plus modernes avec des distancemètres connectés jusqu'aux données Lidar (scanners statiques voire dynamiques). Les techniques sont plus ou moins adaptées en fonction des niveaux de détails attendus. En effet, il existe plusieurs niveaux de détails qui dépendent des différentes phases des projets dans lesquelles ils se trouvent. De façon conventionnelle, on les appelle des LOD (en anglais « *Level of Detail* ») divisés en 5 niveaux (figure 54).



Figure 54 : niveaux de détails d'une maquette numérique BIM (source : objectif-bim.org)

Ce sont les principaux niveaux. Plus le niveau est grand, plus les détails sont précis. Le LOD 100 est une représentation conceptuelle. Le LOD 500 est le niveau que l'on pourrait rapprocher d'un récolement afin de modéliser les projets tels qu'ils sont construits. On peut trouver parfois des niveaux intermédiaires en fonction des différents projets.

Lors ce stage, je me suis intéressé à l'intégration d'un nuage de points afin d'obtenir une modélisation la plus fidèle possible en fonction des données acquises.

Les logiciels BIM

Sur le marché, on retrouve plusieurs logiciels permettant la création de maquettes avec des nuages de points, notamment :

- ArchiCAD : c'est un logiciel d'architecture de la société Graphisoft permettant de générer des modèles en 3D pour créer divers documents, à la fois des plans et des vues 3D. Il est très répandu chez les architectes. Il est également composé du concept Virtual Building ArchiCAD pour créer des maquettes numériques de type BIM. Il est possible d'intégrer des nuages de points.

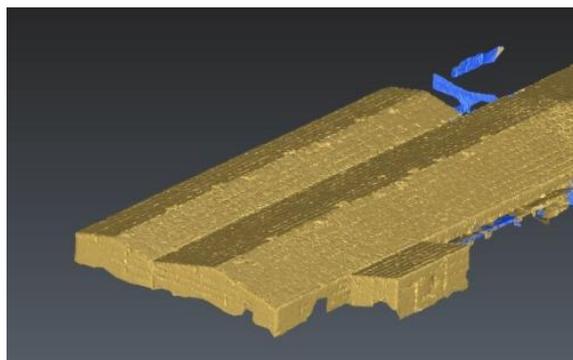
- Revit : c'est un logiciel édité par la société Autodesk initialement conçu pour des plans 2D pour les architectes. Aujourd'hui, c'est un véritable outil de BIM servant à modéliser des bâtiments en trois dimensions. On peut insérer des nuages de points et s'en servir comme référence pour dessiner une maquette.

- AecoSim : c'est un logiciel de la société Bentley System développé pour le développement de maquettes numériques, afin de concevoir, analyser, documenter et visualiser des bâtiments. Les nuages de points peuvent également s'intégrer en référence.

Le maillage

L'objectif de ce travail était de trouver un outil me permettant de générer de manière simple des modèles sans utiliser uniquement le nuage en référence afin de dessiner par-dessus. Deux logiciels ont été trouvés : 3DReshaper et Geomagic Wrap. Afin d'obtenir des résultats visuels attrayants et également pour des raisons financières, l'utilisation de 3DReshaper a été choisie pour mailler, texturer et visualiser mes modèles. Avec Geomagic Wrap, il est impossible d'appliquer des textures. Les modèles produits sont adaptés à des éléments plus petits et non à des bâtiments ou à des infrastructures.

Pour créer un modèle avec 3DReshaper (figure 55), il faut créer un maillage. Deux solutions sont possibles : la création automatique des mailles ou une semi-automatisation. L'automatisation complète créé un maillage à partir de mes nuages de points. Cependant, sans



filtrage du bruit, le résultat est trop grossier. Appliquer un filtre trop agressif a l'inconvénient de supprimer trop de détails. Finalement, il est impossible d'obtenir un nuage précis à partir de mes données grâce à cet outil de 3DReshaper.

La seconde méthode avec 3DReshaper est d'utiliser la modélisation par primitives géométriques (en l'occurrence des surfaces). Pour effectuer ce traitement, il faut également réduire le bruit de manière à supprimer les points aberrants. Ensuite, en sélectionnant l'outil permettant d'extraire des points, il est possible de créer les faces avec des contours de manière automatique. Un affinage manuel des contours permet d'obtenir un résultat plus net et plus précis (figure 56).

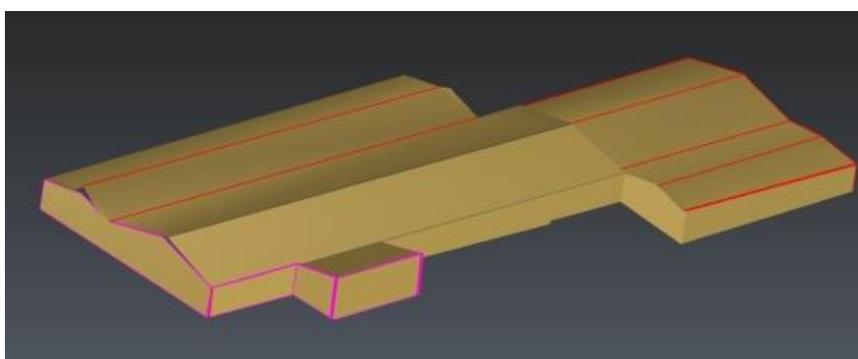


Figure 56 : modélisation par surface (source : logiciel 3DReshaper)

Le texturage

Dans une autre optique, la modélisation peut être intéressante pour communiquer à la fois pour les ouvrages d'arts et culturels. Afin d'améliorer le rendu visuel et réaliste de mes données, on peut utiliser la technique du texturage (figure 57) grâce à 3DReshaper. A l'aide de ce logiciel, il est possible de plaquer de manière manuelle une image sur un maillage. Pour le réaliser, il faut sélectionner manuellement des points communs sur la photo et le maillage. Ensuite, l'algorithme vient habiller le modèle. De nombreux travaux de recherche ont porté sur la texturation automatique.

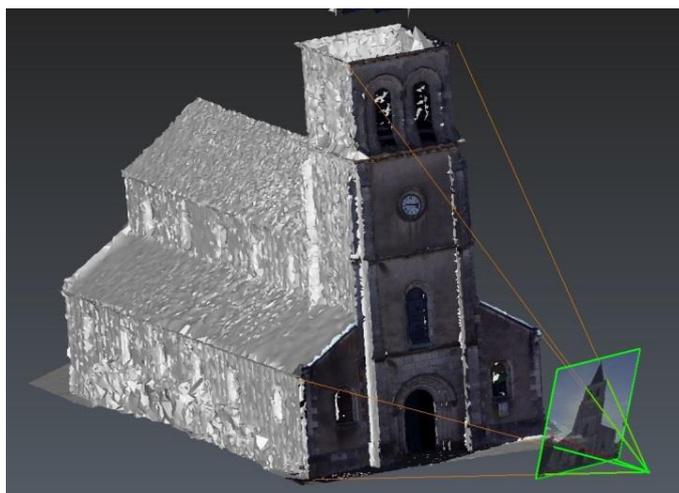


Figure 57 : texturage d'un maillage (source : logiciel 3DReshaper)

Pour réaliser ce type de procédé, les paramètres spécifiques de l'image étaient nécessaires (position, orientation...etc). C'est pour cette raison, qu'un traitement manuel s'est avéré indispensable.

IV.2.ii. Visualisateurs Web

Actuellement, pour visualiser les données, nous fournissons aux clients l'intégralité des données Lidar ainsi que les plans correspondants. Cependant, le poids des fichiers varie en fonction de la distance levée mais dépasse à chaque fois plusieurs giga-octets. Pour faciliter la visualisation des données par les clients, j'ai cherché à mettre en place une visualisation web. Différentes possibilités existent. La plupart des solutions utilise le langage WebGL pour afficher les données sur un navigateur. Ne connaissant pas ce langage, j'ai cherché des solutions similaires intégrant ces notions. Trois possibilités efficaces ont émergé. Il y a la plateforme Web Sketchfab qui permet d'héberger les données et de les publier dans tous les navigateurs, ainsi que Cesium, et Potree.

- Sketchfab : c'est une plateforme Web permettant d'offrir un visualisateur efficace de multiples données 3D (Lidar, modèles 3D, surfaces ...etc.). L'avantage principal de ce site est l'ensemble des outils proposé et sa facilité de prise en main. Il est ensuite très simple d'insérer le cadre visualisateur dans les sites (figure 58). Le point négatif est la dépendance au site. De plus, il y a une limite de poids. Pour dépasser un certain seuil, il faut prendre une formule payante. Les outils sont également limités dans la version gratuite.

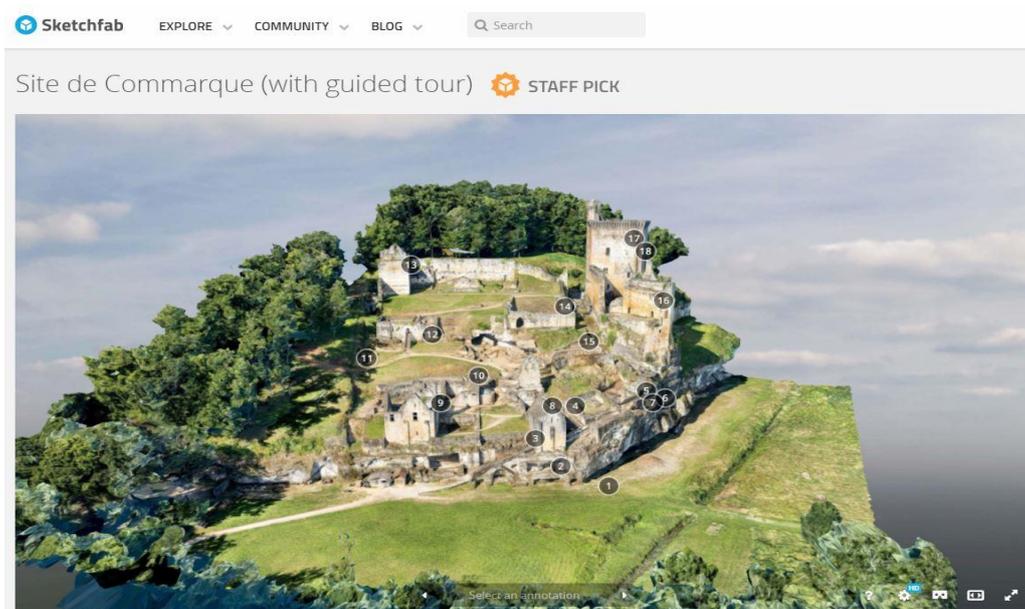


Figure 58 : visualisation d'un maillage sous la plateforme Sketchfab (source : Sketchfab.com, consulté le 29/05/2017)

- Cesium : c'est une bibliothèque javascript permettant d'afficher des données 3D sous forme de modèles maillés ou de nuages de points (figure 59). A l'aide de ContextCapture, un logiciel de la société Bentley permettant de créer des nuages de points à partir de photos ainsi que la création de maillage, il est très simple de générer un visualisateur Cesium. En revanche sans ce logiciel, il est moins évident de produire une visualisation. L'intérêt de cette solution est la non dépendance à une plateforme. Cependant, les fonctionnalités de mesures ou d'extractions de données restent limitées.



Figure 59 : visualisation web Cesium (source : Cesium.com), consulté le 29/05/2017)

- Potree : avec ce visualisateur WebGL (figure 60), on peut afficher un nuage de points volumineux en couleur RGB, en intensité ou en classification (annexe 8). Ce visualisateur offre également différents outils, tels que la mesure de distance, d'altitude ou l'extraction de profil. Ensuite, il est possible d'exporter facilement la coupe en format 3D (.las) ou 2D (.csv). Enfin, le dernier atout est la possibilité d'ajout de points d'intérêt pour la valorisation d'un environnement (par exemple pour une collectivité ou le tourisme). Le seul point négatif se trouve dans l'impossibilité de visualiser des maillages ou des surfaces ainsi que des données vectorielles comme des lignes ou des symboles. C'est actuellement un axe de développement pour la prochaine version.

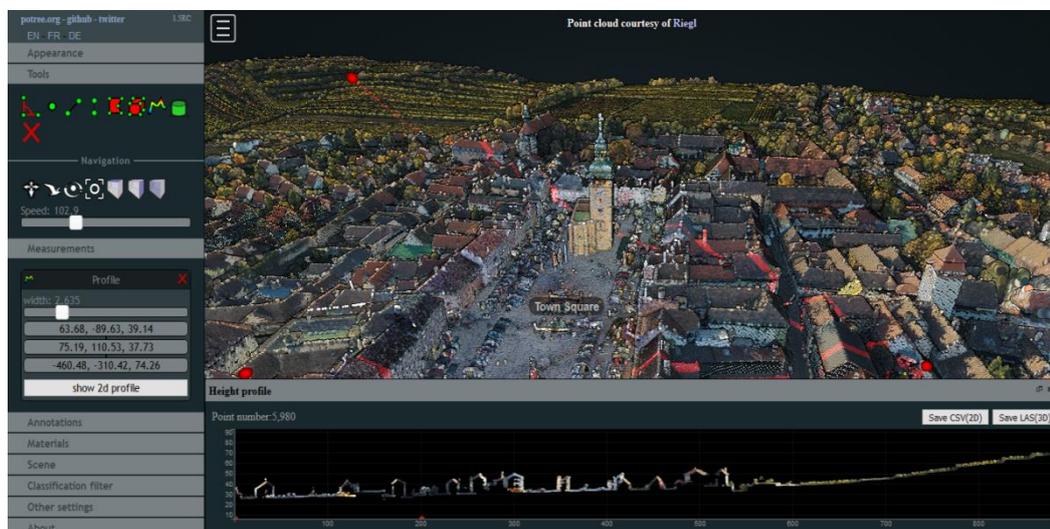


Figure 60 : visualisation du nuage avec Potree (source : potree.com), consulté le 29/05/2017)

Conclusion

Ce travail de fin d'études a permis de mettre en place une chaîne de traitement afin d'intégrer le système de cartographie mobile, le Leica Backpack, dans les applications de levés de voiries et de levés d'usines. Un contrôle de la qualité des données produites a été effectué à la fois dans des lieux extérieurs variés mais également dans des bâtiments. L'importance du bruit du nuage (4 cm) est une limite à prendre en compte dans les différentes exploitations possibles.

J'ai pu analyser la chaîne de traitement de base pour obtenir des données brutes. Après avoir effectué des constats sur les points à optimiser comme les traitements chronophages, des solutions optimales et envisageables ont été cherchées. En effet, l'investissement dans ce type de technologie requiert une rentabilisation pour la société. Elle est donc amenée à être présente sur d'importants marchés concurrentiels. Le Backpack permet d'intervenir rapidement sur les chantiers mais il y a un véritable besoin d'augmenter les performances de traitement au bureau. Pour répondre à cette problématique, j'ai été confronté à l'impossibilité d'accès à des lignes de commande pour automatiser entièrement les traitements. Les logiciels d'automatisation par macros graphiques (en utilisant la position de la souris) n'ont pas été des solutions robustes.

Je me suis donc concentré sur des interfaces simplifiant l'accès aux différents logiciels tout en réalisant un suivi des données. J'ai défini les différents paramètres les plus optimums possible. Des tests ont été effectués sur l'utilisation des algorithmes SLAM pour simplifier le recalage et ainsi réduire le trop grand nombre de points de référence levé sur le terrain.

De nombreuses évaluations de logiciels ont été effectuées afin d'ajouter à la chaîne de traitement une classification des données pour faciliter la digitalisation. Cette étape a été très longue à mettre en place. En effet, on retrouve sur le marché un nombre important de logiciels de traitement. J'ai dû définir les attentes, à la fois en termes de classification et de digitalisation. La prise en main des fonctionnalités, des données compatibles et l'accessibilité à des démonstrations ont également été un frein.

Enfin, pour valoriser ces données, j'ai dû développer des procédures de traitement spécifiques afin de faire de la modélisation et de la visualisation. Le développement des ordinateurs et des algorithmes oblige le secteur à constamment suivre les évolutions.

Bibliographie

Ouvrages imprimés et revues

Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection, SFPT, mai 2010, Colloque Lidar ESGT n°191, Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection, ENSG, 71 p.

Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection, SFPT, septembre 2010, Colloque Lidar ESGT n°192, Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection, ENSG, 91 p.

LANDES Tania, GRUSSENMEYER Pierre, BOULAASSAL Hakim, 2011, Les principes fondamentaux de la lasergrammétrie terrestre : acquisition, traitement des données et applications, Revue XYZ, N°129 , 14p., p.25-38.

GOULETTE François, 2009, Relevés laser urbains par Systèmes Mobiles de Cartographie, Revue XYZ, N°119, 5p., p.21-25.

Travaux universitaires et thèses

[DUPUIS Benjamin, 2014], Lasergrammétrie mobile : Etude et utilisation d'un système mobile de cartographie 3D en milieu ferroviaire – Le GRP 500, TFE, ESGT, Le Mans, 64p.

[LAGUIAN Alexandre, 2013], Estimation de l'exactitude des scanners laser dans les applications en milieu industriel, TFE, ESGT, Le Mans, 63p.

[REBOUL Remi, 2014], Segmentation, classification et modélisation à partir de données issues de capteurs dynamiques, TFE, ESGT, Le Mans, 70p.

[COLOMBE Julien, 2016], Le BIM appliqué aux domaines d'intervention privilégiés du géomètre-expert : un outil déclinable pour répondre aux exigences de demain, TFE, ESGT, Le Mans, 70p.

[AÏT-MANSOUR Mounir, 2014], Extraction d'éléments géométriques dans un nuage de points LIDAR terrestre. Application aux relevés de façades, TFE, ESGT, Le Mans, 85p.

[MENAGER Maxime], Transposition de la méthode « lean manufacturing » pour l'optimisation d'une chaîne de modélisation de nuages 3D à partir de scans statiques, TFE, ESGT, Le Mans, 136p.

[GUEDDACHE Brahim, 2015], Intégration de la navigation inertielle avec le GPS, Spécialité Electronique, option Techniques de communication modernes, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, Algérie, 84p. Disponible sur : <https://www.univ-usto.dz/theses_en_ligne/doc_num.php?explnum_id=1316>. (consulté le 03/03/2017).

[JACQUIN Audrey, 2015], Qualification de la précision de données topographiques issues d'acquisitions par méthode scanner laser dynamique ferroporté au sein de la SNCF, PFE, INSA Strasbourg, 75p., Disponible sur : <eprints2.insa-strasbourg.fr/2033/1/PFE_Jacquin-Audrey.pdf>. (consulté le 13/03/2017).

[PEÑA PASTOR Jorge, 2008], Méthodes ICP avancées pour la localisation d'un robot mobile, PFE, Ecole Nationale Supérieure d'Informatique et de Mathématiques Appliquées, Option ISI, Grenoble, 2008, Disponible sur : <oa.upm.es/1798/1/PFC_JORGE_PEÑA_PASTOR.pdf>. (consulté le 28/04/2017).

[POULLAIN Emilie, 2013], Exploitation de l'intensité du signal LASER d'un Lidar topographique aéroporté pour des environnements littoraux sableux, THESE, spécialité : Terres solides et enveloppe superficielle, Caen, Université de Caen, 2013, 199 p. ., Disponible sur : <<https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00924649/document>>. (consulté le 10/04/2017).

[Yoo Hyun-Jae, 2011], Analyse et conception de scanners laser mobiles dédiés à la cartographie 3D d'environnements urbains, THESE, Ecole nationale supérieure des mines de Paris, Spécialité « Informatique temps réel – Robotique – Automatique », Paris, 2011, 189p. ., Disponible sur : <<https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00579965v2/document>>. (consulté le 02/03/2017).

[POREBA Martyna, 2014], Qualification et amélioration de la précision de systèmes de balayage laser mobiles par extraction d'arêtes, THESE, Ecole nationale supérieure des mines Paris, Spécialité « Informatique temps réel – Robotique – Automatique », Paris, 2014, Disponible sur : <<https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-01068828/file/2014ENMP0012.pdf>>. (consulté le 02/03/2017).

[NARAYANA Keerthi, 2011], Solutions de localisation des Systèmes Mobiles de Cartographie en environnements structurés, THESE, Ecole nationale supérieure des mines Paris, Spécialité « Informatique temps réel – Robotique – Automatique », Paris, 2011, Disponible sur : <https://pastel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/617985/filename/Solutions_de_localisation_des_SystA_mes_Mobiles_de_Cartographie_en_environnements_structurA_s.pdf>. (consulté le 02/03/2017).

Sites web

[TUAL Morgane, 2015], Comment le « deep learning » révolutionne l'intelligence artificielle, LeMonde.fr, 24/07/2015, Disponible sur : <www.lemonde.fr/pixels/articke/2015/07/24/comment-le-deeppèlearning-revolutionne-l-intelligence-artificielle_4695929_4408996.kmtl>. (consulté le 22/05/2017)

[BOISGONTIER Jacques], Sites regroupant de nombreux scripts en VBA pour Exceek, Disponible sur : <http://boisgontierjacques.free.fr/pages_site/formulairebases.htm>. (consulté le 04/04/2017)

[OBJECTIF BIM, Patrick Riedo] Définition du BIM, Disponible sur : <<http://www.objectif-bim.com/index.php/bim-maquette-numerique/le-en-bref/la-definition-du-bim>>. (consulté le 22/05/2017)

Table des annexes

Annexe 1 : Protocoles et valeurs.....	62
Annexe 2 : Fiches techniques des antennes.....	65
Annexe 3 : Modeleur Qgis.....	67
Annexe 4 : Le questionnaire.....	68
Annexe 5 : Création d'interfaces graphiques en VBA.....	70
Annexe 6 : Création d'un plugin Qgis.....	72
Annexe 7 : Le rapport de qualité.....	73
Annexe 8 : La visualisation web.....	74

Annexe 1 Protocoles et valeurs

- Modèle de la feuille terrain :

Feuille Terrain : protocole d'acquisition

Nicolas DESCHATRETTE

Journée :

Lieu :

Remarque :

Présentation du lieu du protocole



Illustration 1: Google Maps

Initialisation tps (s)	
------------------------	--

Calibration		
Conditions	Température (°C):	Météo :
Walk A tps		
Remarques		

- Extrait des valeurs du protocole extérieur :

On retrouve dans ce tableau (figure 61) un extrait des coordonnées des cibles à partir des données du Backpack avec un pointage manuel en fonction des différentes « Walk » c'est-à-dire des différentes acquisitions. Ainsi, à l'aide des coordonnées de référence, il est possible d'établir les écarts.

TRACK	X	Y	Z	TRACK	X	Y	Z
A Walk A SA 0 06637008.gps	645783.192	6666979.476	122.238469	C Walk C SA 1 06637008.gps	645748.222	6666926.87	122.552004
L Walk L SA 5 06637008.gps	645710.876	6666954.07	122.85679	H Walk H SA 1 06637008.gps	645748.23	6666926.87	122.547883
M Walk M SA 5 06637008.gps	645718.351	6666967.07	122.633962	B Walk B SA 1 06637008.gps	645748.24	6666926.86	122.551665
H Walk H SA 2 06637008.gps	645718.378	6666967.108	122.596625	B Walk B SA 1 06637008.gps	645748.243	6666926.86	122.541125
O Walk O SA 1 06637008.gps	645718.385	6666967.091	122.622149	F Walk F SA 1 06637008.gps	645748.254	6666926.85	122.547344
K Walk K SA 2 06637008.gps	645718.385	6666967.071	122.619607	Q Walk Q SA 1 06637008.gps	645748.259	6666926.81	122.515343
L Walk L SA 5 06637008.gps	645718.388	6666967.024	122.622313	G Walk G SA 1 06637008.gps	645748.262	6666926.86	122.544798
J Walk J SA 2 06637008.gps	645718.391	6666967.103	122.615378	D Walk D SA 1 06637008.gps	645748.267	6666926.85	122.537171
I Walk I SA 2 06637008.gps	645718.391	6666967.095	122.601916	E Walk E SA 1 06637008.gps	645748.282	6666926.85	122.547084
G Walk G SA 2 06637008.gps	645718.392	6666967.117	122.58165	J Walk J SA 1 06637008.gps	645748.284	6666926.84	122.546177
D Walk D SA 2 06637008.gps	645718.402	6666967.126	122.594565	I Walk I SA 1 06637008.gps	645753.062	6666935.16	123.111477
A Walk A SA 2 06637008.gps	645718.403	6666967.154	122.600016	O Walk O SA 0 06637008.gps	645753.068	6666935.15	123.111087
E Walk E SA 2 06637008.gps	645718.404	6666967.108	122.611903	L Walk L SA 12 06637008.gps	645753.072	6666935.08	123.091143
C Walk C SA 2 06637008.gps	645718.406	6666967.142	122.60241	L Walk L SA 2 06637008.gps	645753.073	6666935.07	123.134446
B Walk B SA 2 06637008.gps	645718.414	6666967.145	122.599362	F Walk F SA 1 06637008.gps	645753.075	6666935.19	123.127991
B Walk B SA 2 06637008.gps	645718.414	6666967.144	122.599299	P Walk P SA 0 06637008.gps	645753.077	6666935.17	123.123063
C Walk C SA 2 06637008.gps	645722.009	6666930.376	121.787785	D Walk D SA 1 06637008.gps	645753.078	6666935.21	123.127227
K Walk K SA 2 06637008.gps	645722.091	6666930.318	121.780622	K Walk K SA 1 06637008.gps	645753.087	6666935.15	123.129069
L Walk L SA 4 06637008.gps	645722.091	6666930.291	121.777731	J Walk J SA 1 06637008.gps	645753.094	6666935.17	123.121886
K Walk K SA 2 06637008.gps	645728.313	6666946.107	123.000595	H Walk H SA 1 06637008.gps	645753.098	6666935.16	123.113664
Q Walk Q SA 1 06637008.gps	645728.337	6666945.975	122.97566	E Walk E SA 1 06637008.gps	645753.104	6666935.16	123.119532
E Walk E SA 2 06637008.gps	645728.342	6666946.077	122.995345	C Walk C SA 1 06637008.gps	645753.116	6666935.2	123.111468
H Walk H SA 2 06637008.gps	645728.342	6666946.109	123.00233	B Walk B SA 1 06637008.gps	645753.139	6666935.19	123.111302
J Walk J SA 2 06637008.gps	645728.342	6666946.111	123.01539	B Walk B SA 1 06637008.gps	645753.146	6666935.19	123.097986
G Walk G SA 2 06637008.gps	645728.351	6666946.087	122.992459	A Walk A SA 1 06637008.gps	645753.173	6666935.2	123.100472
D Walk D SA 2 06637008.gps	645728.352	6666946.032	122.9908	C Walk C SA 3 06637008.gps	645754.417	6666978.7	123.971269
C Walk C SA 2 06637008.gps	645728.367	6666946.034	122.996578	D Walk D SA 4 06637008.gps	645754.42	6666978.69	123.962791
I Walk I SA 2 06637008.gps	645728.378	6666946.055	122.998818	Q Walk Q SA 2 06637008.gps	645754.42	6666978.73	123.986899
L Walk L SA 6 06637008.gps	645728.634	6666982.516	122.960632	B Walk B SA 3 06637008.gps	645754.427	6666978.72	123.975355
K Walk K SA 3 06637008.gps	645728.635	6666982.537	122.957362	G Walk G SA 3 06637008.gps	645754.451	6666978.67	123.979913
L Walk L SA 9 06637008.gps	645728.638	6666982.531	122.979553	F Walk F SA 3 06637008.gps	645754.46	6666978.69	123.975105
J Walk J SA 3 06637008.gps	645728.648	6666982.56	122.940481	P Walk P SA 2 06637008.gps	645754.462	6666978.65	122.959196
I Walk I SA 2 06637008.gps	645728.654	6666982.573	122.948084	O Walk O SA 2 06637008.gps	645754.464	6666978.71	123.949717
H Walk H SA 3 06637008.gps	645728.654	6666982.571	122.949419	I Walk I SA 3 06637008.gps	645754.474	6666978.67	123.984435
G Walk G SA 3 06637008.gps	645728.663	6666982.554	122.935087	K Walk K SA 3 06637008.gps	645754.496	6666978.65	122.995627
F Walk F SA 3 06637008.gps	645728.663	6666982.566	122.953077	J Walk J SA 3 06637008.gps	645754.538	6666978.84	123.016598
E Walk E SA 3 06637008.gps	645728.666	6666982.561	122.958083	L Walk L SA 8 06637008.gps	645754.542	6666978.67	123.963296
C Walk C SA 3 06637008.gps	645728.67	6666982.599	122.940014	M Walk M SA 4 06637008.gps	645754.552	6666978.71	123.964714
D Walk D SA 3 06637008.gps	645728.671	6666982.576	122.940373	L Walk L SA 7 06637008.gps	645754.572	6666978.67	123.990762
B Walk B SA 3 06637008.gps	645728.672	6666982.603	122.940412	M Walk M SA 1 06637008.gps	645755.625	6666922.67	123.505974
B Walk B SA 3 06637008.gps	645728.673	6666982.602	122.937401	L Walk L SA 2 06637008.gps	645755.627	6666922.67	123.50757
Q Walk Q SA 2 06637008.gps	645731.032	6666963.491	122.916055	J Walk J SA 1 06637008.gps	645755.642	6666922.67	123.510896
B Walk B SA 2 06637008.gps	645731.046	6666963.503	122.902904	I Walk I SA 1 06637008.gps	645755.653	6666922.68	123.506538
C Walk C SA 2 06637008.gps	645731.051	6666963.491	122.904428	K Walk K SA 1 06637008.gps	645755.659	6666922.69	123.506254
A Walk A SA 2 06637008.gps	645731.052	6666963.479	122.913651	H Walk H SA 1 06637008.gps	645755.661	6666922.68	123.50739
B Walk B SA 2 06637008.gps	645731.059	6666963.496	122.916389	L Walk L SA 2 06637008.gps	645757.689	6666943.31	123.070502
G Walk G SA 2 06637008.gps	645731.061	6666963.534	122.904919	O Walk O SA 0 06637008.gps	645757.707	6666943.33	123.072363
P Walk P SA 2 06637008.gps	645731.061	6666963.491	122.897989	I Walk I SA 0 06637008.gps	645757.709	6666943.37	123.082945
F Walk F SA 2 06637008.gps	645731.063	6666963.533	122.907718	E Walk E SA 1 06637008.gps	645757.719	6666943.37	123.075612
D Walk D SA 2 06637008.gps	645731.064	6666963.493	122.9076	F Walk F SA 1 06637008.gps	645757.73	6666943.39	123.060236
L Walk L SA 10 06637008.gps	645731.067	6666963.609	122.900452	B Walk B SA 1 06637008.gps	645757.74	6666943.4	123.058453
E Walk E SA 2 06637008.gps	645731.068	6666963.533	122.916506	B Walk B SA 1 06637008.gps	645757.783	6666943.36	123.061283
L Walk L SA 5 06637008.gps	645731.078	6666963.598	122.924486	L Walk L SA 1 06637008.gps	645762.013	6666950.95	123.066179
K Walk K SA 2 06637008.gps	645731.08	6666963.584	122.92272	D Walk D SA 0 06637008.gps	645762.037	6666951.01	123.058119
I Walk I SA 2 06637008.gps	645731.082	6666963.528	122.912369	A Walk A SA 0 06637008.gps	645762.05	6666951.06	123.075503
J Walk J SA 2 06637008.gps	645731.091	6666963.548	122.914078	Q Walk Q SA 3 06637008.gps	645766.082	6666962.39	123.939209
M Walk M SA 5 06637008.gps	645731.093	6666963.578	122.897798	A Walk A SA 4 06637008.gps	645766.115	6666962.41	123.934034
K Walk K SA 1 06637008.gps	645735.631	6666937.924	121.990081	B Walk B SA 4 06637008.gps	645766.116	6666962.4	122.911921
L Walk L SA 4 06637008.gps	645735.773	6666938.28	121.962401	C Walk C SA 4 06637008.gps	645766.118	6666962.4	122.92282
M Walk M SA 1 06637008.gps	645735.781	6666938.27	121.966235	B Walk B SA 4 06637008.gps	645766.123	6666962.4	122.921392
J Walk J SA 1 06637008.gps	645735.794	6666938.243	121.957519	H Walk H SA 4 06637008.gps	645766.125	6666962.39	122.926772
I Walk I SA 1 06637008.gps	645735.808	6666938.234	121.959918	F Walk F SA 4 06637008.gps	645766.132	6666962.38	122.91526
H Walk H SA 2 06637008.gps	645735.822	6666938.232	121.969507	D Walk D SA 4 06637008.gps	645766.137	6666962.39	123.919122
P Walk P SA 0 06637008.gps	645735.83	6666938.224	121.973041	I Walk I SA 4 06637008.gps	645766.138	6666962.38	123.923154
E Walk E SA 2 06637008.gps	645735.83	6666938.23	121.967001	E Walk E SA 4 06637008.gps	645766.149	6666962.38	123.932333
O Walk O SA 1 06637008.gps	645735.832	6666938.235	121.961495	G Walk G SA 4 06637008.gps	645766.15	6666962.39	123.923614
F Walk F SA 2 06637008.gps	645735.833	6666938.227	121.960032	K Walk K SA 4 06637008.gps	645766.17	6666962.36	123.918576
D Walk D SA 2 06637008.gps	645735.848	6666938.229	121.976879	J Walk J SA 4 06637008.gps	645766.171	6666962.39	123.938734
C Walk G SA 2 06637008.gps	645735.856	6666938.241	121.957085	L Walk L SA 8 06637008.gps	645766.288	6666962.36	123.910361
G Walk C SA 2 06637008.gps	645735.862	6666938.223	121.968974	L Walk L SA 1 06637008.gps	645766.653	6666959.22	123.259475
A Walk A SA 2 06637008.gps	645735.869	6666938.203	121.963268	J Walk J SA 0 06637008.gps	645766.666	6666959.27	123.240082
B Walk B SA 2 06637008.gps	645735.874	6666938.238	121.965888	P Walk P SA 0 06637008.gps	645766.67	6666959.28	123.274834
B Walk B SA 2 06637008.gps	645735.874	6666938.237	121.970513	O Walk O SA 0 06637008.gps	645766.677	6666959.24	123.260635
Q Walk Q SA 1 06637008.gps	645735.875	6666938.214	121.930171	F Walk F SA 0 06637008.gps	645766.678	6666959.29	123.254657
A Walk A SA 3 06637008.gps	645744.227	6666974.261	122.968502	H Walk H SA 0 06637008.gps	645766.679	6666959.25	123.24168

Figure 61 : extrait des valeurs du protocole extérieur

- Extrait des valeurs du protocole intérieur :

Le tableau (figure 62) représente un extrait des valeurs du protocole intérieur après le recalage.

Points	DX	DY	DZ	DXDY	DXDYDZ
Walk_E_1	0.05	0.01	0.16	0.05	0.17
Walk_E_2	0.08	0.02	0.17	0.08	0.19
Walk_F_1	0.03	0.02	0.08	0.04	0.09
Walk_F_2	0.09	0.11	0.01	0.14	0.15
Walk_F_3	0.00	0.05	0.00	0.05	0.06
Walk_F_4	0.04	0.01	0.02	0.04	0.04
Walk_F_5	0.03	0.03	0.02	0.05	0.05
Walk_F_6	0.07	0.08	0.01	0.11	0.11
Walk_F_7	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
Walk_F_8	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
Walk_F_9	0.04	0.00	0.03	0.04	0.05
Walk_F_10	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
Walk_F_11	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
Walk_F_12	0.01	0.01	0.03	0.02	0.04
Walk_F_13	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
Walk_F_14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Walk_F_15	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02
Walk_F_16	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
Walk_F_17	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
Walk_F_18	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
Walk_F_19	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02
Walk_F_20	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
Walk_F_21	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03
Walk_F_22	0.02	0.01	0.03	0.03	0.04
Walk_F_23	0.01	0.02	0.00	0.02	0.02
Walk_F_24	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03
Walk_F_25	0.04	0.04	0.00	0.06	0.06
Walk_F_26	0.11	0.08	0.01	0.13	0.13
Walk_F_27	0.08	0.06	0.03	0.10	0.11
Walk_F_28	0.05	0.07	0.01	0.09	0.09
Walk_F_29	0.02	0.10	0.01	0.10	0.10
Walk_F_30	0.04	0.11	0.27	0.12	0.29

Figure 62 : extrait des valeurs du protocole intérieur

La figure 63 montre en rouge la trajectoire effectuée lors de ce test à l'intérieur de l'usine. Avant le recalage, on observe des écarts plus élevés dans le fond de l'usine.

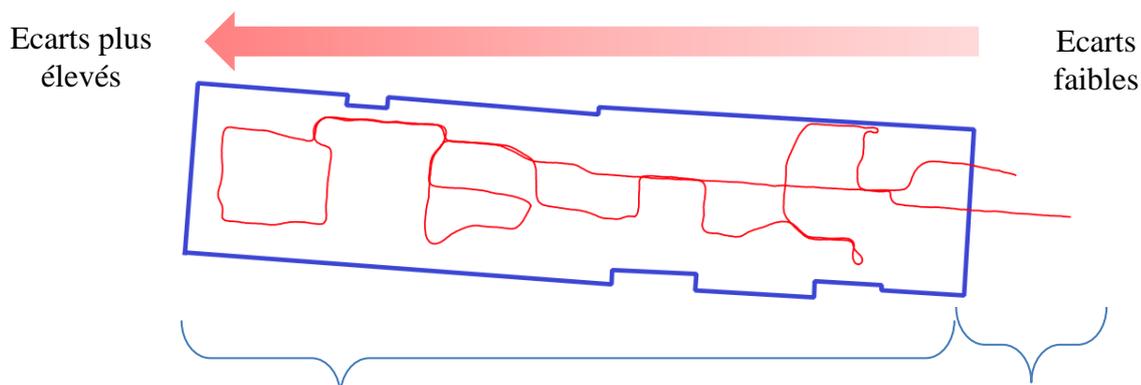


Figure 63 : levé de l'usine

Zone sans observation
GNSS

Zone avec observations
GNSS afin de géoréférencer
les données

GPS-703-GGG

PERFORMANCE

3 dB Pass Band

L1/B1/E1 1580.0 ± 28.5 MHz (typical)
 L2/L3/L5/B2/E5/E5a/E5b
 1210.0 ± 45.0 MHz (typical)

Out-of-Band Rejection

L1 ± 100 MHz 30 dBc (typical)
 L2 ± 200 MHz 50 dBc (typical)
 LNA Gain 29 dB (typical)

Gain at Zenith (90°)

GPS L1 +5.0 dBc (minimum)
 GPS L2 +3.0 dBc (minimum)
 GPS L5 +3.0 dBc (minimum)

Gain Roll-Off (from Zenith to Horizon)

GPS L1 12 dB
 GPS L2 13 dB
 GPS L5 13 dB

Noise Figure 2.0 dB (typical)
 VSWR ≤2.0:1

L1-L2 Differential Propagation Delay
 5 ns (maximum)

Nominal Impedance 50 Ω
 Altitude 9,000 m

PHYSICAL AND ELECTRICAL

Dimensions 185 mm diameter¹ × 69 mm

Weight 500 g

Power

Input voltage +4.5 to +18.0 VDC

Current 36 mA (typical)

Connectors TNC female

Optional N-Type

ENVIRONMENTAL

Temperature

Operating -40°C to +85°C
 Storage -55°C to +85°C

Humidity 95% non-condensing

Vibration (operating)

Random MIL-STD-810G 514.6E-1
 Category 24

Sinusoidal
 ASAE EP455 Section 5.15.2 Level 1
 ISO 9022-3 Method 36

Shock IEC 68-2-27 Ea

Bump IEC 68-2-29 (Eb)

Salt Spray MIL-STD-810G 509.5

Waterproof IPX6/IPX7

Compliance FCC, CE

RoHS EU Directive 2011/65/EU

For the most recent details of this product:
www.novatel.com/products/gnss-antennas/high-performance-gnss-antennas/gps-703-ggg/

novatel.com

sales@novatel.com

1-800-NOVATEL (U.S. and Canada)
 or 403-295-4900

China 0086-21-68882300

Europe 44-1993-848-736

SE Asia and Australia 61-400-883-601

Version 9 Specifications subject to change without notice.
 ©2015 NovAtel Inc. All rights reserved.
 NovAtel and PineTree are registered trademarks of NovAtel Inc.
 Printed in Canada.
 012878 November 2015



Figure 65 : fiche technique de la nouvelle antenne (document constructeur)



Annexe 3 Modeleur Qgis

Pour automatiser les traitements sous Qgis, il est possible d'utiliser le modeleur du logiciel. C'est un outil permettant de créer une chaîne de tâches en paramétrant au préalable les variables. L'exemple ci-dessous montre un traitement classique des données vectorielles (en l'occurrence les nuages de points). Le modeleur modifie les valeurs des champs puis on applique une rasterisation avec une taille de pixel définie. Enfin, l'automatisation applique l'algorithme de rugosité de terrain au raster.

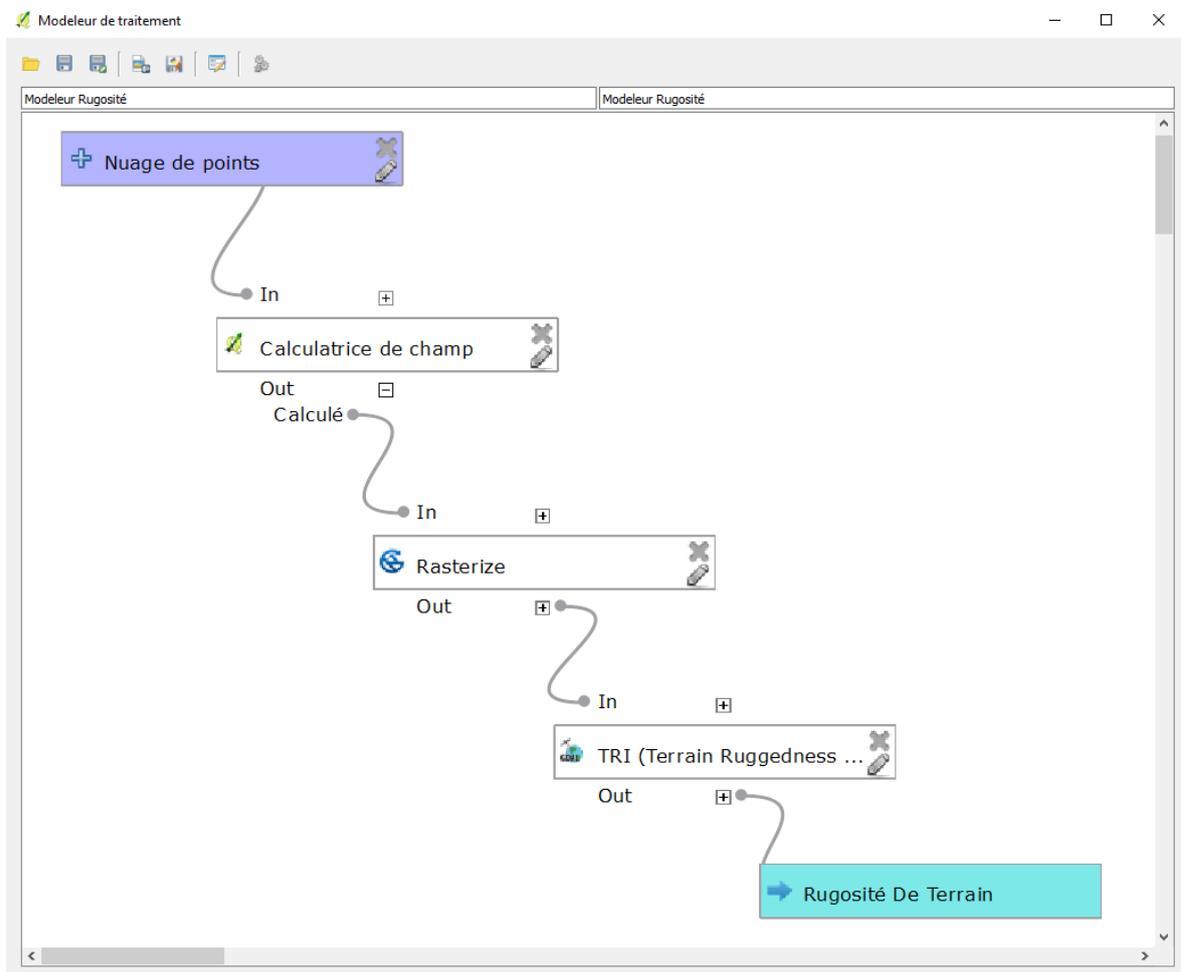


Figure 66 : modeleur Qgis (source : Nicolas D.)

Annexe 4 Le questionnaire

Améliorations des procédures

L'objectif de ce formulaire est d'établir les améliorations dans les procédures utilisant les données Lidar du Leica Pegasus Backpack. Afin de cibler les demandes, merci de répondre au questionnaire.

1. Adresse e-mail *

2. Quelles sont les principales difficultés rencontrées lors de la digitalisation ?

Plusieurs réponses possibles.

- Cibler les données et les journées
- Retrouver les données
- Connaitre l'état des données
- Suivre les données
- Se coordonner avec les autres digitaliseurs
- Le poids des fichiers
- La non classification
- La qualité des POD
- Autre : _____

3. Concernant la gestion des traitements, quels sont les points à améliorer ?

Plusieurs réponses possibles.

- Suivre les données
- Connaitre l'état de chaque traitement
- La multiplication des logiciels
- Autre : _____

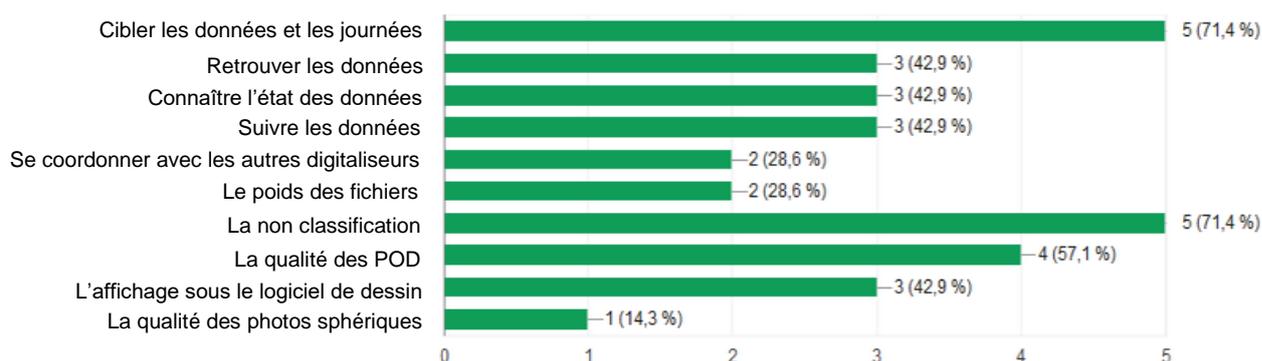
4. Avez-vous des propositions permettant d'optimiser les procédures ?

5. Avez-vous d'autres remarques ?

Les résultats :

On note la nécessité d'améliorer les procédures et notamment de créer un meilleur suivi des données. On peut constater également une demande d'amélioration des données brutes par une classification et un poids de fichier moins important.

Quelles sont les principales difficultés rencontrées lors de la digitalisation ?



Concernant la gestion des traitements, quels sont les points à améliorer ?

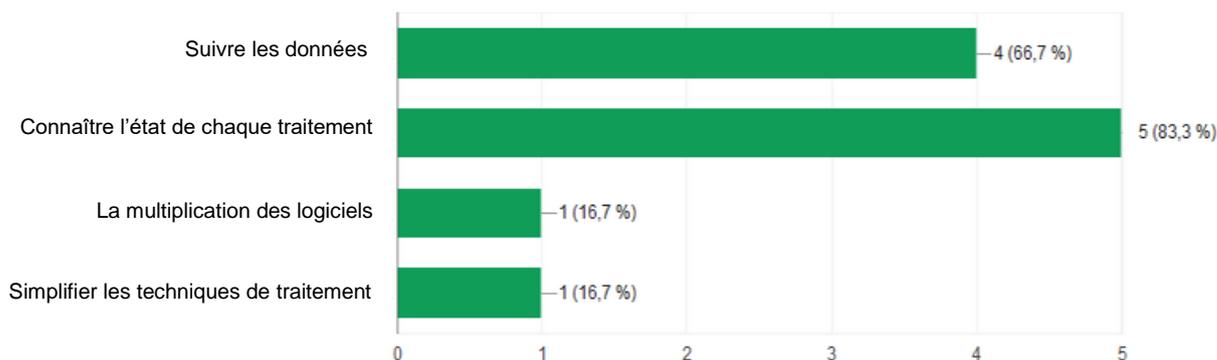


Figure 67 : réponses du questionnaire (source : Nicolas D.)

Annexe 5

Création d'interfaces graphiques en VBA

Pour automatiser certaines tâches, exécuter des actions en série, ajouter des boutons de commande, créer des interfaces graphiques et des applications, il est possible d'utiliser Excel et le langage Visual Basic. L'avantage principal de développer une application en VBA (Visual Basic for Application) est la rapidité et la régularité d'exécution mais également un apprentissage relativement accessible. Cependant, il faut avoir Excel et les applications trop complexes sont difficilement développables.

Pour créer une interface, il suffit d'utiliser Visual Basic Editor et d'insérer un « UserForm ». C'est un élément représentant la partie graphique de l'application. Grâce à des barres d'outils, il est possible d'intégrer des boutons, des zones de textes ou des cadres pour visualiser des données très facilement. Une fois la partie visuelle définie, il faut lier les éléments avec un code. Pour les connecter, il faut définir les variables puis pour chaque élément, affecter une action et des commandes particulières plus ou moins complexes. Il

est également possible de créer une connexion entre plusieurs « UserForm ». Enfin, pour rendre opérationnelle l'interface, il faut créer une macro Excel pour l'ouvrir. On peut choisir de créer une ouverture grâce à un bouton dans Excel ou ouvrir directement la macro au démarrage du document.

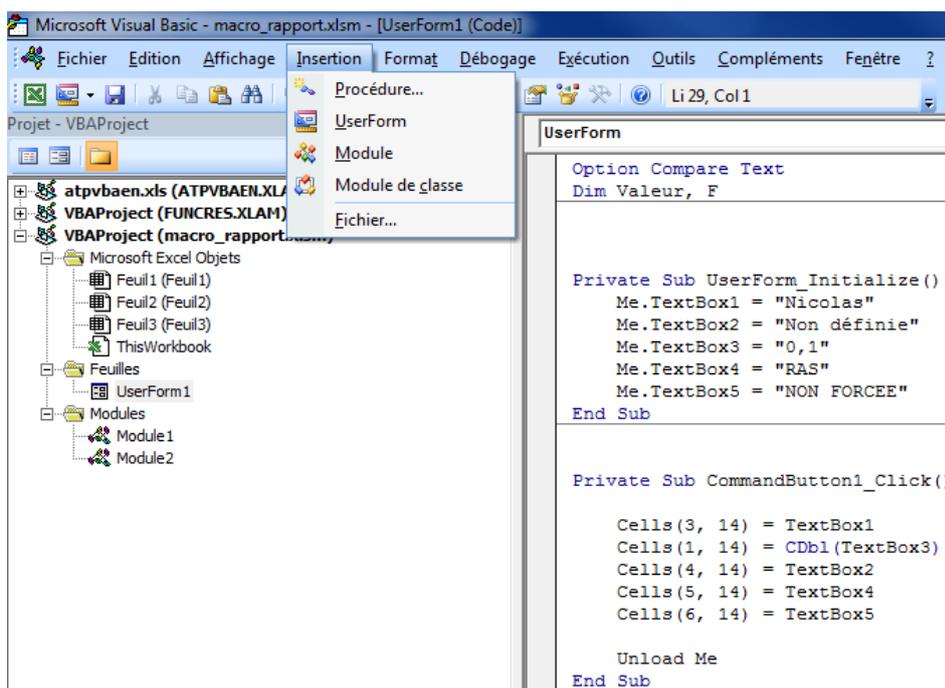


Figure 68 : microsoft Visual Basic Editor

Pour créer les différentes applications du suivi global et du gestionnaire de travail, j'ai utilisé huit UserForms s'ouvrant directement au démarrage d'Excel. De nombreuses fonctionnalités en fonction des demandes ont été utilisées comme une recherche intuitive, des ajouts, des suppressions, des modifications de listes ainsi que des liens entre fichiers.

Les besoins de suivi ont été établis à partir des différents techniciens et de mon expérience dans les traitements. J'ai défini une interface de travail générale (voir p.48). Grâce à quatre boutons de commande, j'ai lié quatre interfaces qui représentent les quatre étapes majeures des traitements. Les quatre images (figure 69) montrent les différentes fonctionnalités mises en place qui respectent une même organisation. Tout d'abord, le nom du dossier a été intégré pour permettre aux utilisateurs de reconnaître ou de vérifier le dossier actuel. Des raccourcis des nombreux logiciels ont été ajoutés ainsi qu'un suivi des étapes pour chaque journée. Un détail des calculs est affiché avec des commandes permettant rapidement de mettre à jour l'état des traitements mais également le rajout de remarques.

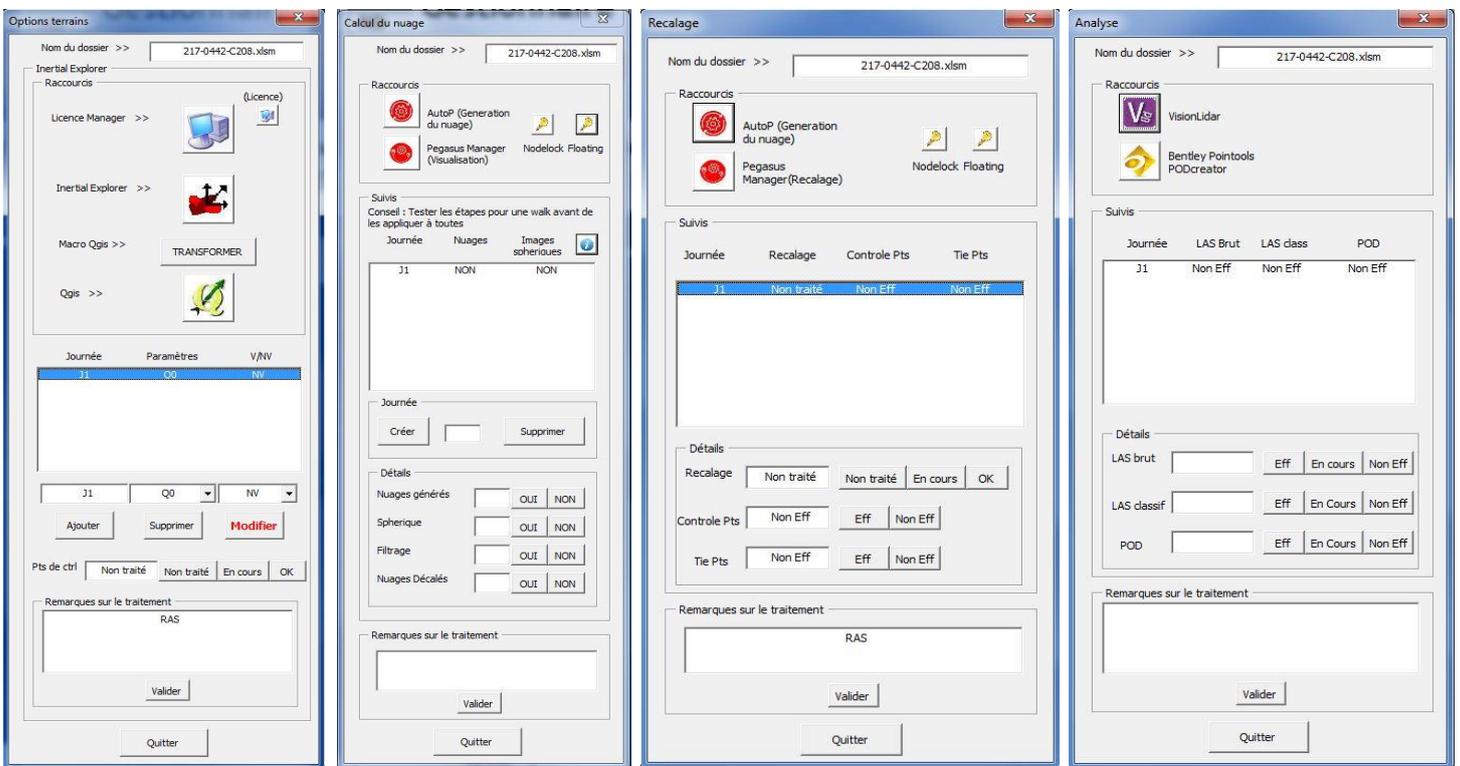


Figure 69 : interfaces développées (source : Nicolas D.)

Un algorithme de J. B. Gontier a permis de réaliser la recherche rapide (figure 70).

```

If Me.TextBoxRech <> "" Then
    mots = Split(Trim(Me.TextBoxRech), " ")
    Tbl = choix
    For i = LBound(mots) To UBound(mots)
        Tbl = Filter(Tbl, mots(i), True, vbTextCompare)
    Next i
    N = 0: Dim b()
    For i = LBound(Tbl) To UBound(Tbl)
        a = Split(Tbl(i), "|")
        N = N + 1: ReDim Preserve b(1 To Ncol + 1, 1 To N)
        For k = 1 To Ncol
            b(k, i + 1) = a(k - 1)
            If k >= 3 And k <= 5 Then b(k, i + 1) = Format(b(k, i + 1), "00 00 00 00 00")
        Next k
        b(k, i + 1) = a(k - 1)
    Next i
    If N > 0 Then
        ReDim Preserve b(1 To Ncol + 1, 1 To N + 1)
        Me.ListBox1.List = Application.Transpose(b)
        Me.ListBox1.RemoveItem N
    End If
Else

```

Figure 70 : algorithme de recherche rapide (source : J.B. Gontier)

Annexe 6 Création d'un plugin Qgis

Pour créer un plugin sous Qgis, il est possible d'utiliser le langage python. Celui-ci est plus facile à écrire, comprendre et maîtriser. Les extensions sont regroupées dans un dossier particulier : `~/.qgis/python/plugins`

Pour reconnaître le dossier comme un plugin, il faut retrouver trois fichiers spécifiques : il y a un fichier `__init__.py` permettant d'initialiser le plugin, un fichier `plugin.py` avec les différents algorithmes souhaités et un fichier texte `metadata` pour informer sur les métadonnées qui sont utilisées lorsque l'on choisit le plugin dans la liste de Qgis.

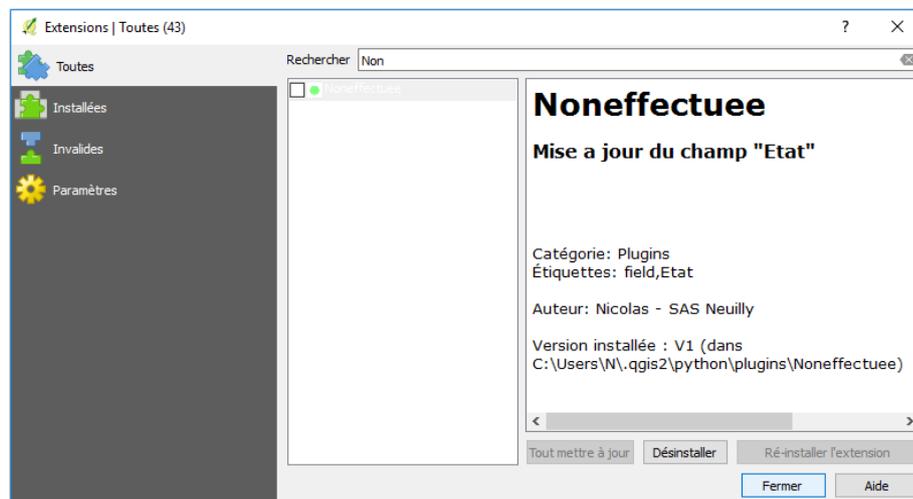


Figure 71 : liste des extensions Qgis

Pour ajouter un formulaire, il est possible de créer un fichier de forme grâce à Qt Designer Qgis qui génère de façon intuitive un code appliquant les différents styles au format `.ui` et un fichier python associé (exemple : `python.py`)

Pour créer un plugin permettant d'attribuer rapidement un champ d'un simple clic, j'ai utilisé comme base le plugin existant « QuickAttributEdit ». J'ai redéfini le formulaire pour créer une confirmation. Ensuite, j'ai utilisé la fonction `changeAttributeValue` pour affecter un champ donné aux calques sélectionnés (`selectedFeatures`).

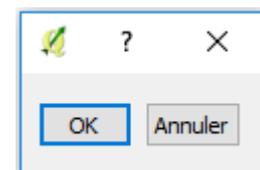


Figure 72 : fenêtre de confirmation

```
calque = layer.selectedFeatures()
etat=2
champs="Terminee"
for feature in calque:
    layer.changeAttributeValue(feature.id(),etat,champs)
```

Figure 73 : modification du code (source : Nicolas D.)

Annexe 7 Le rapport de qualité

Pegasus Automatic Processing Fichier: macro_rapport.xlsm
Page
Date du traitement : 14/06/2017 Heure : #####
Nom : Nicolas

Rapport de qualité

Nom du dossier traité : E:
Nb de points contrôlés : 8
Projection utilisée : Non définie
Tolérance : 0,05

En m	Ecart en coordonnées			2D	3D
	E	N	H		
Moyennes des écarts	0,031	0,041	0,017	0,056	0,059
Écarts maximaux	0,082	0,064	0,036	0,091	0,098
Écarts minimaux	0,001	0,009	0,001	0,018	0,018
Écarts types	0,026	0,020	0,013	0,022	0,024
Écarts à la moyenne	0,020	0,016	0,011	0,015	0,017

-> Nb de points hors tolérance :
5

Ciblage des walks à recaler :

[14 FEB 2017]Walk_H_Walk_H_SA_0|04530261,gps
[14 FEB 2017]Walk_H_Walk_H_SA_0|04530261,gps
[14 FEB 2017]Walk_H_Walk_H_SA_1|04530261,gps
[14 FEB 2017]Walk_H_Walk_H_SA_2|04530261,gps
[14 FEB 2017]Walk_H_Walk_H_SA_3|04530261,gps

[14 FEB 2017]Walk_H_Walk_H_SA_6|04530261,gps
[14 FEB 2017]Walk_H_Walk_H_SA_7|04530261,gps

Remarques : RAS

ETAT du recalage	Non validé	NON FORCEE
-------------------------	-------------------	-------------------

ManuelIP_WalkH_0-6

Discussions non disponibles pour ce document

Figure 74 : rapport de qualité généré par la routine (source : Nicolas D.)

Annexe 8 La visualisation Web

Potree est une solution à la visualisation web des données Lidar. Pour transformer nos données au format .las en format adapté aux différents navigateurs, un convertisseur est fourni. On obtient différents fichiers notamment un dossier avec un fractionnement du nuage de points en plusieurs centaines de fichiers. Entre autres, il y a un fichier HTML, des dossiers contenant le nuage de points, et des fichiers Batch (.bat). Ces derniers, développés par la société VisionLidar, permettent de lancer localement la visualisation. Il est également possible d'intégrer ces fichiers directement sur un serveur.

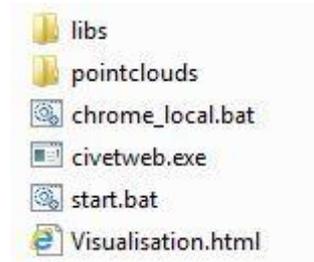


Figure 75 : arborescence

Une personnalisation est possible pour créer un rendu propre à l'entreprise (figure 76). Pour la réaliser, j'ai modifié le fichier .html afin d'intégrer les éléments souhaités.

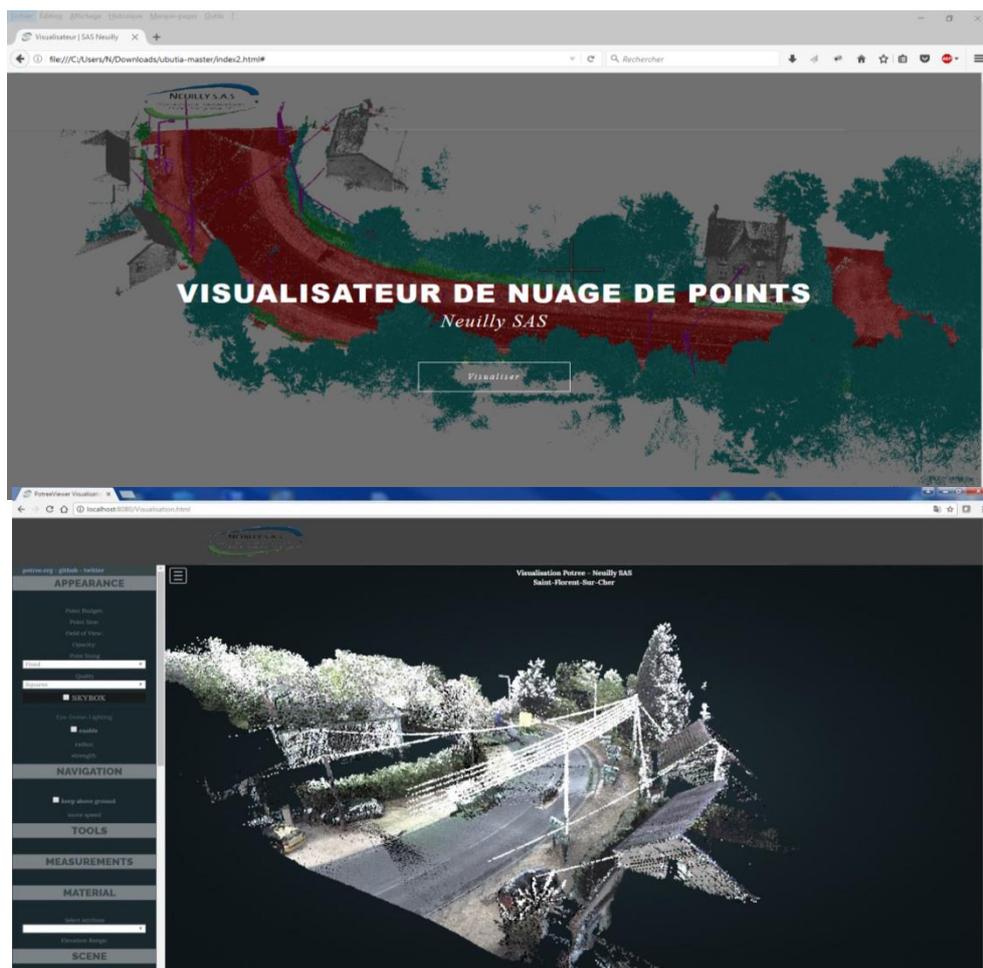


Figure 76 : visualisateur personnalisé de nuage de points (source : Nicolas D.)

Table des illustrations

Figure 1 : schéma de la méthode DMAIC (source : piloter.org, consulté le 03/05/2017)	7
Figure 2 : tableau des systèmes MMS légers commerciaux (source : sites fabricants, Leica.com, Zebrev.com Robin.com)	9
Figure 3 : comparaison des systèmes de cartographie « légers » commercialisés	10
Figure 4 : plan (source : neuilly SAS)	10
Figure 5 : visualisation d'un site (source : sketchfab.com, consulté le 10/05/2017)	11
Figure 6 : PLU++ (source : ignnf.github.io/, consulté le 10/05/2017)	11
Figure 7 : composition du Backpack, (source : leica.com)	13
Figure 8 : les quatre grandes étapes	14
Figure 9 : angles des profilomètres (source : Nicolas D.)	14
Figure 10: exemple de la trajectoire d'un chantier sous Inertial Explorer	15
Figure 11: levé du Backpack avec le pivot (source : Nicolas D.)	15
Figure 12 : schéma de la méthode par couplage lâche	16
Figure 13 : schéma de la méthode par couplage serré	16
Figure 14 : exemple de l'indicateur de séparation (source : logiciel Qgis)	17
Figure 15 : visualisation logiciel (source : logiciel Pegasus Manager)	18
Figure 16 : représentation des notions d'exactitude et de fidélité dans le cas d'une loi normale (inspiration Yoo, 2011)	20
Figure 17 : représentation schématique de la précision et de l'exactitude	20
Figure 18 : trajectoire avec et sans recouvrement (source : logiciel Arcgis)	21
Figure 19 : cible (source : Nicolas D.)	21
Figure 20 : polygonale du protocole (source : Covadis)	22
Figure 21 : résultats du protocole extérieur (voir extrait des valeurs dans l'annexe 1).....	22
Figure 22 : bruit du Backpack (source : logiciel Pegasus Manager)	23
Figure 23 : écarts des mesures des cibles à leur moyenne	23
Figure 24 : graphique des écarts moyens en fonction de la vitesse de déplacement.....	24
Figure 25 : comparaisons entre les deux antennes en 3D.....	25
Figure 26 : séparation avec l'ancienne antenne (à gauche) et la nouvelle (à droite) (source : visualisation Qgis)	25
Figure 27 : comparaison de deux passages similaires	25
Figure 28 : schéma conceptuel du SLAM	26
Figure 29 : nuage de points en visualisation RGB de l'usine (source : logiciel Pegasus Manager).....	28
Figure 30 : résultats du test intérieur	28
Figure 31 : nuage de points à l'intérieur de l'usine (source : logiciel Pegasus Manager) ...	29
Figure 32 : décalage observé (source : logiciel Pegasus Manager)	29
Figure 33 : méthode APTE.....	31
Figure 34 : diagramme pieuvre.....	31
Figure 35 : concept de FME (source : portaiSIG.org).....	34
Figure 36 : tableau de la comparaison des logiciels	35
Figure 37 : principe du CSF (source : Cloudcompare.org), consulté le 12/04/2017).....	36
Figure 38: schéma descriptif de la méthode d'extraction du sol.....	36
Figure 39 : nuage de points avec l'extraction du sol en rouge (source : logiciel VisionLidar)	37

Figure 40 : nuage de points entièrement classifié (source : logiciel VisionLidar)	38
Figure 41 : détection de la bordure (source : logiciel VisionLidar)	39
Figure 42 : extraction d'un MNT et des lignes de niveau (source : logiciel VisionLidar) ..	40
Figure 43 : extraction de la rugosité (source : logiciel Qgis)	41
Figure 44 : schéma de deux rayons laser heurtant deux surfaces différentes.....	42
Figure 45 : nuage de points affiché avec l'intensité (source : logiciel Atlog)	42
Figure 46 : schéma conceptuel du pixel avec des valeurs d'altitude différentes à gauche et une surface plane	43
Figure 47 : extraction de l'indicateur de rugosité (source : logiciel CloudCompare).....	43
Figure 48 : interface de la gestion globale en VBA (source : logiciel Excel)	46
Figure 49 : interface de la gestion détaillée (source : logiciel Excel).....	47
Figure 50 : interface de travail (source : logiciel Excel)	48
Figure 51 : organigramme de l'algorithme de Qgis	49
Figure 52 : toolbar développée (source : logiciel Qgis)	50
Figure 53 : processus BIM du cycle de vie d'un bâtiment (source : Objectif-bim.org)	51
Figure 54 : niveaux de détails d'une maquette numérique BIM (source : objectif-bim.org)	52
Figure 55 : maillage automatisé (source : logiciel 3DReshaper).....	53
Figure 56 : modélisation par surface (source : logiciel 3DReshaper)	54
Figure 57 : texturage d'un maillage (source : logiciel 3DReshaper)	54
Figure 58 : visualisation d'un maillage sous la plateforme Skechfab (source : Sketchfab.com, consulté le 29/05/2017).....	55
Figure 59 : visualisation web Cesium (source : Cesium.com), consulté le 29/05/2017)	56
Figure 60 : visualisation du nuage avec Potree (source : potree.com), consulté le 29/05/2017).....	56
Figure 61 : extrait des valeurs du protocole extérieur	63
Figure 62 : extrait des valeurs du protocole intérieur.....	64
Figure 63 : levé de l'usine	64
Figure 64 : fiche technique de l'ancienne antenne GNSS (document constructeur)	65
Figure 65 : fiche technique de la nouvelle antenne (document constructeur)	66
Figure 66 : modeleur Qgis (source : Nicolas D.).....	67
Figure 67 : réponses du questionnaire (source : Nicolas D.).....	69
Figure 68 : microsoft Visual Basic Editor	70
Figure 69 : interfaces développées (source : Nicolas D.).....	71
Figure 70 : algorithme de recherche rapide (source : J.B. Gontier)	71
Figure 71 : liste des extensions Qgis	72
Figure 72 : fenêtre de confirmation	72
Figure 73 : modification du code (source : Nicolas D.)	72
Figure 74 : rapport de qualité généré par la routine (source : Nicolas D.)	73
Figure 75 : arborescence.....	74
Figure 76 : visualisateur personnalisé de nuage de points (source : Nicolas D.)	74

Etude d'un système d'acquisition dynamique mobile et mise en place de procédures permettant de gérer, suivre et valoriser de multiples données.

Mémoire d'Ingénieur C.N.A.M., Le Mans 2017

RESUME

Depuis quelques années, la modélisation 3D est en plein essor. Les performances des nouveaux outils ne cessent d'évoluer. Les systèmes de cartographie mobiles sont devenus des outils indispensables à l'acquisition de masse. Ils permettent notamment de lever les voiries, les espaces urbains et les environnements ruraux. Les systèmes comme le Leica Pegasus Backpack permettent de numériser en trois dimensions l'intérieur des bâtiments. Ils offrent une ouverture sur de nouveaux marchés tout en modernisant les marchés actuels. Les avantages sont nombreux mais les différentes procédures nécessitent une parfaite maîtrise de l'appareil.

L'objectif de cette étude est de contrôler la qualité des données produites par un système de cartographie mobile, d'optimiser les procédures, de suivre les données et de les valoriser.

Mots clés : Système de cartographie mobile, lasergrammétrie, précision, chaîne de traitement, segmentation, classification, modélisation, BIM, maillage.

SUMMARY

Since few years, 3D modelling is booming. Tools become very effective and the evolution doesn't stop to develop. Mobile mapping system are become necessary tools to acquire big data. It's possible to digitize road, urbans spaces and rural environment. Systems like Leica Pegasus Backpack enable to digitize 3 dimensions inside building. These systems offer the possibility to open new market and modernize current market. Advantages are numerous but different processes require a perfect mastery and knowledge.

The purpose of this study was to control the quality of acquisition data of mobile mapping system, found precision, optimize process, follow data and valorise data.

Key words : Mobile mapping system, lasergrammetry, repeatability, processing, segmentation, classification, modelling, BIM, mesh.