



HAL
open science

Mise en place d'une suite instrumentale multicapteur (sondeur multifaisceaux et LiDAR) sur la vedette Léon Foucault

Juliane Besseyre

► **To cite this version:**

Juliane Besseyre. Mise en place d'une suite instrumentale multicapteur (sondeur multifaisceaux et LiDAR) sur la vedette Léon Foucault. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2024. dumas-04780759

HAL Id: dumas-04780759

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04780759v1>

Submitted on 13 Nov 2024

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 D'INGENIEURS GEOMETRES ET TOPOGRAPHES

MEMOIRE

présenté en vue d'obtenir

le DIPLOME D'INGENIEUR CNAM

SPECIALITE : Géomètre et Topographe

par

Juliane BESSEYRE

Mise en place d'une suite instrumentale multicapteur (sondeur multifaisceaux
et LiDAR) sur la vedette Léon Foucault

Soutenu le 4 Septembre 2024

JURY

Monsieur Stéphane DURAND	Président du jury
Monsieur Mathieu BONNEFOND	Maître de stage
Monsieur Christophe CHARLET	Maître de stage
Monsieur Jérémie ROBERT	Maître de stage
Monsieur Jérôme VERDUN	Enseignant référent

Remerciements

Avant tout, je tiens à remercier mes maîtres de stage Mathieu BONNEFOND, Christophe CHARLET et Jérémie ROBERT pour leur accompagnement et leur gentillesse. Plus particulièrement, Christophe CHARLET et Jérémie ROBERT pour leur grande disponibilité tout au long de ce travail de fin d'études et leur implication lors des sorties terrain. Merci de m'avoir transmis une part de vos savoirs et de m'avoir aidée à mener à bien ce travail de recherche.

Je tiens aussi à remercier José CALI et Stéphane DURAND, pour leurs conseils et leur temps accordé.

Je voudrais aussi remercier Jérôme VERDUN, mon professeur référent, pour son suivi régulier et ses conseils avisés tout au long de mon travail.

Merci à Samuel GARGIULO, pour sa relecture attentive et ses nombreux conseils pour que ce travail soit le meilleur possible.

Plus largement, ce stage m'a offert l'opportunité de faire de nombreuses rencontres dont je garderai un très bon souvenir. Je tiens ainsi à exprimer ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, parfois même sans le savoir, à la réussite de ce projet.

Enfin, ce mémoire clôture mon parcours scolaire, et c'est avec une immense reconnaissance que je dédie mes derniers remerciements à mes parents, dont le soutien indéfectible m'a accompagnée tout au long de mes études.

Liste des abréviations

AHRS	Attitude and Heading Reference System : système de référence d'attitude et de cap
API	Application Programming Interface
FTP	File Transfer Protocol
GeF	Géomatique et foncier
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
IP	Internet Protocol adress : protocole informatique
INS	Inertial Navigation System
LiDAR	Light Detection And Ranging
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
PCAP	Packet CAPture : API permettant de capturer les paquets de données d'un réseau informatique
PPS	Pulse par seconde
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services
TFE	Travail de fin d'études
SMF	Sondeur Multifaisceaux
SVP	Sound velocity profiler
SVS	Sound velocity sensor

Table des matières

Remerciements	2
Liste des abréviations	3
Table des matières	4
Introduction.....	6
I Bathymétrie et cartographie mobile	8
I.1 LA BATHYMETRIE	8
I.1.1 ÉTAT DE L'ART.....	8
I.1.2 COMPOSITION ET FONCTIONNEMENT D'UN SYSTEME DE LEVE BATHYMETRIQUE MULTIFAISCEAUX	8
I.2 CARTOGRAPHIE MOBILE TERRESTRE	10
I.2.1 ÉTAT DE L'ART.....	10
I.2.2 COMPOSITION ET FONCTIONNEMENT D'UN SYSTEME DE CARTOGRAPHIE MOBILE	10
I.3 APPAREILS DE POSITIONNEMENT ET D'ORIENTATION COMMUNS AUX DEUX SYSTEMES. 11	11
II Mise en place de la suite instrumentale et d'un protocole d'acquisition.....	12
II.1 PRESENTATION DES APPAREILS ET LOGICIELS	12
II.1.1 APPAREILS	12
II.1.2 LOGICIELS.....	13
II.1.2.1 LOGICIELS PROPRES AUX CAPTEURS.....	14
II.1.2.2 LOGICIELS D'ACQUISITIONS ET DE TRAITEMENTS DE DONNEES	14
II.1.2.3 AUTRES LOGICIELS INTERVENANTS DANS LE FONCTIONNEMENT DE NOTRE SUITE INSTRUMENTALE	15
II.2 LE POSITIONNEMENT DU SYSTEME	15
II.2.1 REPERES.....	16
II.2.2 BRAS DE LEVIER.....	17
II.2.3 GEOREFERENCMENT DES DONNEES	18
II.3 MISE EN APPLICATION D'UN PROTOTYPE EXPERIMENTAL	19
II.3.1 BATHYMOBILE ET MONTAGE MATERIEL.....	19
II.3.2 COUPLAGE ET PARAMETRAGES DES CAPTEURS	21
II.3.2.1 PARAMETRAGE DE COUPLAGE DU SYSTEME	21
II.3.2.2 PARAMETRAGE TECHNIQUE DES CAPTEURS.....	23
II.3.3 COUPLAGE DES DONNEES PROVENANT DES CAPTEURS GRACE AUX LOGICIELS.....	24

III	Application sur la Sarthe et résultats	27
III.1	PROTOCOLE D'ACQUISITION LORS DU LEVE	27
III.1.1	METHODE D'ACQUISITION ET PARAMETRES	27
III.1.2	METHODE D'ETALONNAGE DU SYSTEME.....	29
III.1.2.1	ÉTALONNAGE DU SONDEUR MULTIFAISCEAUX.....	30
III.1.2.2	ETALONNAGE DU LiDAR	31
III.2	TRAITEMENT DES DONNEES	32
III.2.1	RESULTATS DE L'ETALONNAGE	32
III.2.1.1	RESULTATS DE L'ETALONNAGE DU SONDEUR MULTIFAISCEAUX.....	32
III.2.1.2	RESULTATS DE L'ETALONNAGE DU LiDAR	33
III.2.2	TRAITEMENTS DES NUAGES DE POINTS.....	33
III.2.2.1	BATHYMETRIQUE.....	33
III.2.2.2	TERRESTRE	36
III.2.2.3	COUPLAGE	36
III.3	DIFFICULTES RENCONTREES.....	36
III.3.1	INSTALLATION	36
III.3.2	INTEGRATION DU LiDAR.....	37
III.4	PERSPECTIVES ET AMELIORATION DE LA SUITE INSTRUMENTALE.....	37
III.4.1	CONCERNANT LA SUITE BATHYMETRIQUE.....	37
III.4.2	CONCERNANT LA SUITE TERRESTRE.....	38
	Conclusion	39
	Bibliographie	40
	Table des annexes	42

Introduction

Le laboratoire Géomatique et Foncier a fait l'acquisition, en juin 2022, de la vedette Léon Foucault, destinée à des projets bathymétriques en rivière ou en mer. Une convention a été mise en place entre le Département de la Sarthe et le laboratoire dans le but de lever différents sites d'études sur la rivière de la Sarthe, tous présentant des problématiques spécifiques de dynamiques fluviales.

Le sujet de l'érosion du fond ou des berges est une question d'actualité qui nécessite un suivi particulier. Effectivement, l'érosion fait référence à l'ensemble des processus qui, à la surface du sol, enlèvent tout ou une partie des terrains existants et modifient le relief (Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2024). Les relevés bathymétriques offrent ainsi la possibilité de dresser une carte des zones vulnérables à l'érosion, ce qui permet, par exemple, de prévenir les inondations lors de crues, ainsi que de gérer et entretenir les lits fluviaux (Hydro Météo, 2024).

De plus, la suite instrumentale permettra de mettre en évidence les affouillements près des ouvrages. L'affouillement est l'érosion progressive des sédiments autour des fondations de ponts et constitue l'une des principales causes de rupture de ces derniers. Cette érosion est causée par des mécanismes de turbulence et de transport de sédiments et s'aggrave lors de crues d'eaux (Kazemian et al., 2023). Il est donc important de réaliser des levés bathymétriques aux abords de ces ouvrages afin de prévenir cet affouillement mais aussi d'effectuer la gestion du risque d'affouillement voire un suivi des sites impactés.

Enfin, il faut mettre en place un suivi des dépôts sédimentaires sur la Sarthe. Les levés bathymétriques facilitent la mise en place d'une surveillance de l'accumulation de sédiments dans les lits fluviaux, permettant par ailleurs de calculer les volumes sédimentaires déposés ou à extraire à partir de données acquises à intervalles réguliers (de Chambure, 2011). Ces levés permettent également une gestion des risques posés par ces dépôts et un suivi des sites impactés.

Dans ce contexte particulier, la vedette bathymétrique Léon Foucault couplée à différents capteurs permettra, à terme, de répondre à ces problématiques en assurant un suivi des fonds avec le sondeur multifaisceaux et celle des berges avec le LiDAR.

L'objectif de notre étude est d'intégrer le sondeur multifaisceaux ainsi que le LiDAR au sein de la vedette dans une suite de mesures et de traitements opérationnelle. Les sites d'études permettront de valider cette installation en testant l'instrumentation complète.

Dans un premier temps nous ferons un état de l'art sur la bathymétrie et sur la cartographie mobile, où nous chercherons à comprendre leur fonctionnement et leur composition (I). Dans un second temps, nous présenterons la mise en place de la suite instrumentale avec l'installation d'un prototype expérimental et le développement du protocole d'acquisition (II). Enfin, nous évoquerons les résultats obtenus et les difficultés d'un levé réalisé sur l'une des zones d'étude définies dans la convention avec le Département de la Sarthe (III).

I Bathymétrie et cartographie mobile

Nous allons tout d'abord dresser un état de l'art des bases théoriques utiles à la compréhension de la cartographie mobile et des levés bathymétriques.

Nous détaillerons le fonctionnement et la composition d'un système bathymétrique, et nous dresserons sur le même principe l'état de l'art de la cartographie mobile ainsi que le fonctionnement et la composition de ce système. Nous nous tournerons ensuite vers les appareils de positionnement et d'orientation communs aux deux systèmes.

I.1 La bathymétrie

I.1.1 État de l'art

La bathymétrie est la science s'occupant des mesures, par sondage, des profondeurs d'eau et du relief sous-marin dans le but de cartographier les fonds marins après traitement des données. Les premiers systèmes acoustiques ont été développés au siècle dernier et depuis, les besoins en matière de connaissance de la morphologie et de la nature des fonds marins ont considérablement évolué. Au début du XXe siècle, les grandes opérations marines militaires constituaient la principale demande de levés bathymétriques. Cependant, à la fin de la Seconde Guerre mondiale, la demande s'est étendue principalement à la prospection des fonds marins pour garantir une navigation sécurisée. Plus récemment, les levés bathymétriques ont finalement évolué pour inclure des sujets environnementaux tels que la conservation des habitats (ABAIE, 2018).

Les systèmes bathymétriques ont tous des particularités en fonction de leurs besoins. Nous allons donc nous pencher sur les principes de fonctionnement de ces systèmes.

I.1.2 Composition et fonctionnement d'un système de levé bathymétrique multifaisceaux

Une suite instrumentale bathymétrique est composée de plusieurs appareils ayant chacun un rôle important. Ces appareils varient en fonction des études à réaliser mais nous développons ceux utiles pour les analyses du laboratoire GeF.

Tout d'abord, le système est organisé autour d'un sondeur multifaisceaux qui nous permet de mesurer la bathymétrie. Le système est généralement placé sous le navire à la verticale, orienté vers le bas. La technique de mesure d'un sondeur multifaisceaux repose sur

la propagation d'ondes acoustiques, plutôt que sur des ondes lumineuses. Les impulsions à l'origine de ces ondes sont produites par des transducteurs. Contrairement au sondeur monofaisceau qui envoie un seul faisceau d'ondes vers le fond, le sondeur multifaisceaux émet une large série de faisceaux en forme d'éventail couvrant une large bande perpendiculaire à la direction du navire (Figure 1).

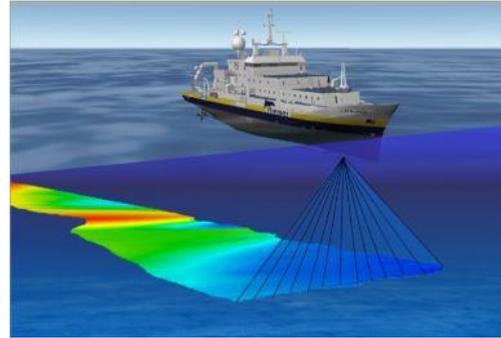


Figure 1 : Illustration de la méthode d'acquisition d'un sondeur multifaisceaux. (Ifremer, 2022)

Ces ondes acoustiques se réfléchissent au fond de l'eau et sont de nouveau reçues par le transducteur. La mesure effectuée est donc au départ celle du temps de vol, qui correspond au temps mis par l'onde une fois émise pour revenir aux capteurs acoustiques après réflexion sur le fond (Ifremer, 2022).

La donnée de vitesse du son dans l'eau est mesurée à l'aide d'un mini capteur de vitesse du son (SVS) au niveau du sondeur multifaisceaux, appelé célérimètre de coque. La célérité est calculée en mesurant le temps que met une onde pour parcourir une distance prédéterminée, c'est-à-dire la distance entre l'émetteur du signal et une plaque réfléchissante attachée à la sonde. En effet, dans l'eau la vitesse du son peut varier en fonction de la température, de la salinité ou de la pression. Il faut avoir cette sonde dite de coque fixée avec le sondeur multifaisceaux afin de déterminer les variations de vitesse du son à la surface de l'eau et de corriger les trajectoires des faisceaux acoustiques du sondeur multifaisceaux. Il faut également utiliser un profilomètre de la vitesse du son (SVP) qui permet d'effectuer un profil des variations de célérité le long de la colonne d'eau. Il est important de réaliser cette opération de manière régulière lors de changements de zones ou au cours de la journée. Ce profil est ensuite renseigné dans les logiciels afin de permettre la correction des données.

Plusieurs autres appareils sont nécessaires pour le géoréférencement du nuage de points que nous détaillerons ultérieurement dans la partie I.3.

I.2 Cartographie mobile terrestre

Dans notre système, nous allons effectuer des levés bathymétriques et également des levés par cartographie mobile. Ci-après figurent quelques explications sur l'origine ainsi que le fonctionnement de la cartographie mobile.

I.2.1 État de l'art

Aussi connue sous le nom de « Mobile mapping », la cartographie mobile est une solution qui permet l'acquisition de données en mouvement mêlant plusieurs instruments. Le but de cette cartographie est de géoréférencer le maximum de données.

Les premiers systèmes de cartographie mobile apparaissent dans les années 1990, combinant le GPS avec des systèmes d'information géographique. Cette technique assez onéreuse était principalement utilisée par les militaires. Avec les avancées technologiques dans les années 2000, nous avons vu l'arrivée des systèmes de cartographie mobile plus compacts et abordables, intégrant principalement des LiDAR, GPS, caméras, etc. (Elhashash, et al., 2022). L'ajout de données INS/GPS, facilité par le filtre de Kalman, a permis de reconstruire des trajectoires et donc d'obtenir des nuages de points géoréférencés.

Dans ce contexte, nous allons définir la composition du système terrestre que nous utilisons.

I.2.2 Composition et fonctionnement d'un système de cartographie mobile

La suite instrumentale « Mobile mapping » est composée de plusieurs éléments. Tout d'abord, il est essentiel de disposer d'une plateforme mobile telle qu'un véhicule terrestre, aérien ou marin, ainsi que d'un capteur de collecte de données tel qu'un LiDAR (Light Detection And Ranging), une caméra ou un scanner laser. Concernant le LiDAR, à l'aide de technologies de télédétection, il peut mesurer la distance entre son capteur et l'obstacle visé en utilisant un faisceau laser. Le LiDAR tourne et mesure la distance des obstacles sur une plage angulaire de 360° (Mazzari, 2018).

D'autres appareils sont nécessaires au bon fonctionnement de la suite instrumentale. Ce sont les appareils de positionnement et d'orientation du système.

I.3 Appareils de positionnement et d'orientation communs aux deux systèmes

Les systèmes bathymétriques ont été améliorés par l'intégration des technologies LiDAR afin de capturer l'ensemble de l'environnement, tant subaquatique que terrestre en un seul passage. Par exemple, l'emploi conjoint d'un LiDAR et d'un sondeur multifaisceaux pour le levé de la Tamise, à Londres (Royaume-Uni), a permis de générer un nuage de points exhaustif et précis de l'ensemble de l'environnement proche (CADDEN, 2022). Cette combinaison technologique offre une couverture topographique et bathymétrique détaillée, essentielle pour des analyses rigoureuses et diverses applications telles que la cartographie, ou la gestion des ressources naturelles. Il semble donc important de se pencher sur les appareils communs aux systèmes de bathymétrie et de cartographie mobile.

Nous disposons, tout d'abord, d'une centrale d'attitude indispensable pour orienter le système. Couplée à des GNSS, elle assure un bon géoréférencement des données acquises par le sondeur multifaisceaux et le LiDAR en estimant la trajectoire du mobile. La centrale est composée de gyroscopes mesurant la vitesse angulaire autour des trois axes orthogonaux (tangage, roulis et lacet) et de trois accéléromètres qui mesurent les accélérations linéaires le long des trois axes (Luinge, et al., 1999). Cela détermine avec précision l'orientation et les mouvements de l'objet dans l'espace en temps réel.

Le géoréférencement nécessite de coupler la centrale d'attitude à deux antennes GNSS pour obtenir une position précise et estimer le cap. La centrale calcule cette position en couplant les coordonnées fournies par le récepteur GPS NRTK avec ses propres paramètres d'attitude et de vitesse, ainsi que les bras de levier entre les antennes GNSS et le point de référence. Elle couple ces informations grâce à un filtre de Kalman.

De plus, une PPS Box est essentielle pour la synchronisation temporelle des deux systèmes. Elle génère un signal de synchronisation qui se répète chaque seconde, synchronisant ainsi les horloges internes des équipements. Associée au récepteur GNSS, elle permet la datation synchrone précise des données provenant des différents appareils de mesure, évitant un temps de latence entre le temps réel et le temps envoyé par le GNSS qui peut être observé en fonction de la couverture satellitaire.

Nous allons maintenant développer la composition de notre suite instrumentale et expliquer comment nous avons établi un protocole d'acquisition.

II Mise en place de la suite instrumentale et d'un protocole d'acquisition

La bathymétrie et la cartographie mobile nécessitent l'établissement de protocoles d'acquisition précis en fonction des appareils, capteurs et logiciels utilisés. C'est pourquoi il est important de s'attarder sur le matériel utilisé dans notre étude, le positionnement de notre système afin de mettre en place un protocole expérimental permettant le bon fonctionnement de la suite.

II.1 Présentation des appareils et logiciels

Différents appareils et logiciels compatibles entre eux sont utilisés. Ces appareils dont le fonctionnement est décrit dans la partie I, permettent de réaliser des levés bathymétriques, de la cartographie mobile ou appartiennent aux deux systèmes.

II.1.1 Appareils

Nous disposons donc d'un sondeur multifaisceaux R2Sonic 2020 pouvant mesurer sur une ouverture angulaire comprise entre 10 et 130 degrés, ayant une portée de 200 mètres de profondeur avec une résolution spatiale de 1.25 centimètre. Il est composé de la tête du sondeur (Figure 2) et d'un Sonar Interface Module (SIM) qui est le centre des communications du système multifaisceaux. Le SIM reçoit les commandes provenant du logiciel R2Sonic control et les envoie à la tête du sondeur. Il reçoit aussi les signaux PPS et les données de la sonde de célérité (R2Sonic, 2021). La sonde de célérité de coque utilisée dans notre système est la Valeport Mini Sound Velocity Sensor (Figure 3) (Valeport, 2022).



Figure 2 : Sondeur multifaisceaux R2Sonic (R2Sonic, 2021)



Figure 3 : Valeport Mini Sound Velocity Sensor (Valeport, 2022)

Nous disposons également d'une centrale d'attitude SBG Ekinox-M SubSea conçue pour des applications maritimes (Figure 4). Cette centrale est utilisée pour des mesures inertielles combinée à un ou des récepteurs GNSS. Elle n'est pas un système INS complet mais un AHRS, ce qui signifie qu'elle nous fournit des données sur l'attitude et le cap grâce aux accéléromètres et gyroscopes intégrés. Les données de position et de vitesse sont obtenues à partir des signaux GNSS (SBG Systems, 2016).



Figure 4 : SBG Ekinox-M SubSea (SBG Systems, 2016)

Les trois capteurs présentés ci-dessus sont couplés et fixés sur un support métallique fourni par l'intégrateur (CADDEN). Cela permet de n'avoir qu'une seule tête immergée et de connaître avec précision les bras de levier des différents capteurs. Cette tête immergée est ensuite fixée à une perche qui nous permet de positionner les capteurs dans l'eau à l'avant de la vedette (Figure 5).



Figure 5 : Capteurs positionnés à l'avant du bateau sur une perche (Photos personnelles)

Nous disposons aussi de deux antennes GNSS qui permettent, comme expliqué plus tôt, de transmettre des informations sur la position et la vitesse de notre système. Nous disposons d'antennes AT1672-382W fixées sur le haut du bateau (Figure 17).

Concernant le levé terrestre, nous disposons du LIDAR Robosens RS-LiDAR-16 qui est un système LIDAR low-cost, compact et léger doté de 16 canaux de mesure. Il offre une portée de 150 mètres ainsi qu'une précision de 2 centimètres. Les faisceaux sont répartis sur un champ de vision vertical de 30 degrés et l'ensemble de l'unité tourne pour donner un champ de 360 degrés. (Mazzari, 2019)



Figure 6 : RS-LiDAR-16 Robosens (Robosens, 2020)

II.1.2 Logiciels

Différents logiciels vont être utilisés tout au long de l'utilisation de la suite instrumentale, de l'installation jusqu'aux traitements des données permettant l'intégration des capteurs. Nous examinerons les différents logiciels ainsi que leurs utilités et fonctions respectives.

II.1.2.1 Logiciels propres aux capteurs

Chaque appareil de la suite instrumentale dispose de son propre logiciel ou interface web permettant de le configurer. Concernant le R2Sonic 2020, nous avons le logiciel « R2Sonic control » qui permet de contrôler le sondeur multifaisceaux et de choisir ses paramètres. Il est important pour paramétrer les ports d'entrée et de sortie des données. Il permet également de visualiser en temps réel les données reçues par le sondeur multifaisceaux.

À propos de la centrale d'attitude SBG, elle dispose d'une interface web disponible via un navigateur Internet qui, en renseignant simplement l'adresse IP, permet de se connecter. Cette interface nous donne accès aux réglages de nombreux paramètres importants pour les levés, tels que les bras de leviers GNSS, le type d'antenne GNSS et les ports d'entrée et de sortie des données. A l'intérieur de la SplitBox SBG se trouve une carte Trimble qui permet d'accéder à l'interface web Trimble disponible à l'adresse : « bd982.local/ ». Cette interface permet de visualiser les paramètres GNSS du système tels que la position, les précisions, les satellites reçus ainsi que la configuration des ports d'entrée et de sortie. Cette dernière configuration est cruciale pour recevoir les corrections GNSS.

Le logiciel RSVIEW, qui est le logiciel propre aux LiDARs Robosens, permet de visualiser en temps réel les données collectées par le LiDAR. Ces données peuvent ensuite être sauvegardées au format PCAP.

II.1.2.2 Logiciels d'acquisitions et de traitements de données

Qinsky est un logiciel de traitement et d'acquisition de données hydrographiques, principalement utilisé pour la cartographie sous-marine, la bathymétrie ou la géophysique marine. Qinsky permet donc de collecter, traiter et visualiser en temps réel les données provenant de plusieurs capteurs, tels que les sondeurs multifaisceaux, les centrales d'attitude et les systèmes de positionnement GNSS. Ce logiciel permet aussi de planifier les levés avant de se rendre sur la zone à lever. Nous utilisons donc Qinsky afin de planifier et réaliser des acquisitions durant nos levés ce qui nous permet obtenir des données bathymétriques des différents capteurs fusionnées. (QPS, 2024)

Après l'acquisition des données avec Qinsky, nous utilisons le logiciel Qimera pour le traitement et l'analyse approfondie des données hydrographiques. Qimera nous permet de nettoyer, corriger et visualiser les données collectées. Avec ce logiciel, nous passons de

données brutes à des produits finis de qualité, prêts pour l'interprétation et l'exploitation. (QPS, 2024)

Le logiciel Qinertia est une solution de post-traitement GNSS/INS développée par SBG Systems. Il permet d'optimiser la précision des données de positionnement et de navigation en combinant les informations des capteurs GNSS et des centrales inertielles. Cela nous permet donc d'obtenir des trajectoires et des données de positionnement corrigées (SBG Systems, 2024). À la suite de l'utilisation de ces logiciels, nous pouvons obtenir deux nuages de points fusionnés.

II.1.2.3 Autres logiciels intervenants dans le fonctionnement de notre suite instrumentale

D'autres logiciels sont importants pour rendre fonctionnel notre système, comme DataLink, qui est un logiciel faisant partie de la suite logicielle RXControl de Septentrio. Il permet de gérer les communications de données entre récepteurs GNSS et d'autres dispositifs. Nous l'utilisons pour établir une connexion entre un serveur NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) et le récepteur GNSS. Cette connexion est nécessaire pour recevoir des corrections en temps réel des données GNSS.

De plus, l'interface web du modem 4G Sierra RX50 disponible à l'adresse IP du Modem (10.0.1.55:9191), nous permet de gérer l'adressage IP du réseau internet ainsi que les types de sorties internet.

FileZilla est lui, un logiciel de client FTP (File Transfer Protocol) qui permet de transférer des fichiers entre un ordinateur local et un serveur distant sur Internet. Il est utilisé pour gérer et transférer des fichiers dans divers environnements professionnels et personnels, notamment pour la gestion de sites web et la sauvegarde de données. Nous l'utilisons pour récupérer les données de la centrale d'attitude stockées dans le DataLogger.

Tous les paramètres de ces logiciels seront expliqués plus en détail dans la partie III.1.1.

II.2 Le positionnement du système

Concernant le positionnement de notre système, nous devons déterminer les repères présents dans notre système, ainsi que les bras de levier et également définir le géoréférencement des données.

II.2.1 Repères

Pour la bonne compréhension de notre système, il est, tout d'abord, nécessaire de définir les différents repères présents dans notre montage. Plusieurs repères composent notre montage, chacun dédié à un appareil spécifique. Ainsi, nous disposons de cinq repères distincts : un pour le LiDAR, un pour le sondeur multifaisceaux, un pour la centrale d'attitude et un pour chaque système GNSS. Il est ensuite essentiel de définir le point de référence commun à tous les appareils, nous sélectionnons le repère associé à la centrale d'attitude. Il est donc important de définir les différents repères mais particulièrement leur position respective sur chaque capteur.

Commençons par le repère propre au sondeur multifaisceaux. Nous constatons que le centre acoustique et le centre de phase correspondent au centre de notre repère. L'axe X est aligné avec la longueur du navire et pointe vers l'avant, tandis que l'axe Y pointe vers tribord et l'axe Z est orienté vers le bas (Figure 7). Ce repère nous permettra par la suite d'établir et de calculer les bras de levier.

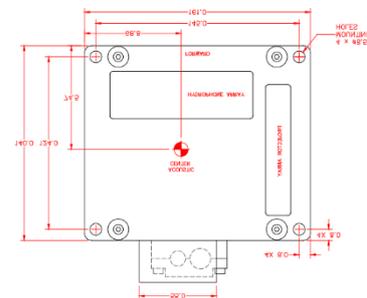


Figure 7 : Repère du R2Sonic 2020 (R2Sonic, 2021)

Concernant la centrale d'attitude SBG Ekinox-M, nous avons la possibilité de sélectionner différents repères de références sur l'interface web. Nous choisissons d'utiliser la petite cible visible sur le dessus de la centrale comme point de référence central. L'axe X est aligné avec la longueur du navire et pointe vers l'avant, tandis que l'axe Y pointe vers tribord et l'axe Z est orienté vers le bas (Figure 8). Ce repère servira de référence pour tous les calculs de bras de levier à effectuer.

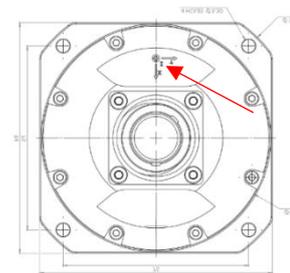


Figure 8 : Repère de la SBG Ekinox-M (SBG Systems, 2016)

Pour le LiDAR Robosens RS-LiDAR-16, l'origine du repère se situe au centre de l'appareil. L'axe X est orienté vers la droite et l'axe Y aligné vers l'avant, dans la direction de l'appareil (Figure 9).

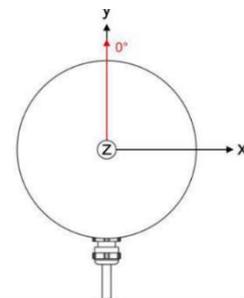


Figure 9 : Repère RS-LiDAR-16 Robosens (Robosens, 2020)

Pour les antennes GNSS, nous nous servons des centres de phases des antennes comme origine du repère.

Voici une représentation de l'ensemble des repères afin d'obtenir une visualisation complète de notre configuration (Figure 10).

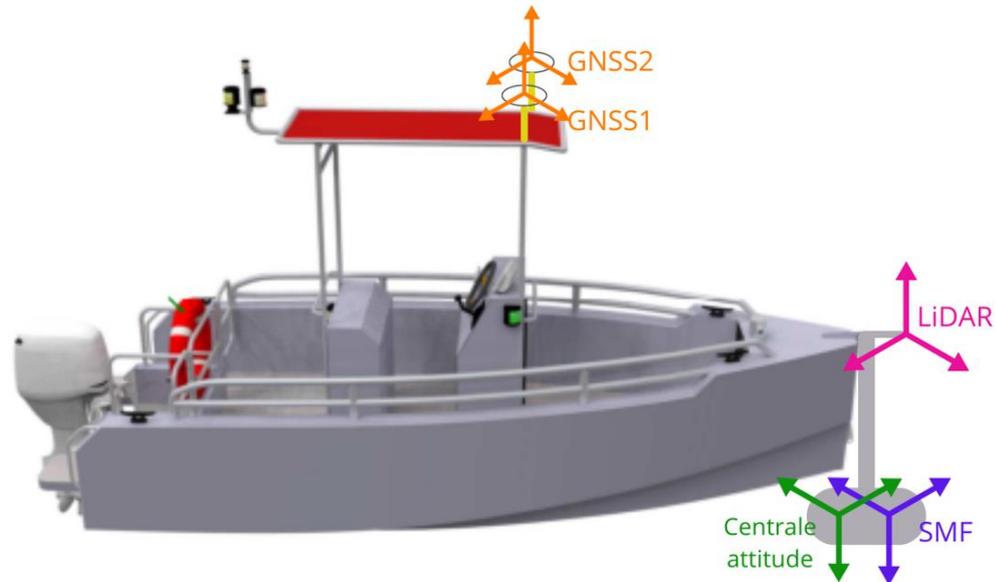


Figure 10 : Représentation de l'ensemble des repères présents sur la vedette Léon Foucault

II.2.2 Bras de levier

Plusieurs méthodes sont possibles pour calculer les bras de levier. Nous avons fait le choix d'une technique qui nous semble la plus précise et réalisable.

Un bras de levier correspond à la distance entre le point de référence de notre système et le centre de notre dispositif de mesure. Dans notre cas, cela correspond à la distance entre la centrale d'attitude et nos capteurs. Concernant les bras de levier de la vedette, les calculs avaient déjà été réalisés avant que je m'empare du projet. La méthode mise en place pour les calculer utilise le tachéomètre afin d'obtenir des bras de levier les plus précis possibles.

Bras de levier	X (m)	Y (m)	Z (m)
Centrale d'attitude	0	0	0
GNSS Tribord	-2.094	-0.324	2.656
GNSS Bâbord	-2.027	0.646	2.649
Sondeur multifaisceaux	0.700	0	-0.600

Tableau 1 : Valeurs numériques en mètres des bras de levier présents dans notre montage

Nous pouvons contrôler les valeurs obtenues pour les bras de levier des GNSS lorsque nous réalisons la « calibration » de la centrale d'attitude.

II.2.3 Géoréférencement des données

L'équation de géoréférencement nous permet de déterminer les coordonnées d'un point P levé à l'aide du sondeur ou du LiDAR. L'équation sera de la même forme pour le système bathymétrique et terrestre, le changement sera donc le sondeur multifaisceaux remplacé par le LiDAR. (Leroux, 2019)

$$r_p^{géo} = r_{GNSS}^{géo} + R_{SMF}^{géo} \times (r_p^{SMF} + b^{SMF})$$

Avec :

$$R_{SMF}^{géo} = R_{Lg}^{géo} \times R_{IMU}^{Lg} \times R_{SMF}^{IMU}$$

Où :

$r_p^{géo}$ Désigne les coordonnées du point P dans le repère géocentrique

$r_{GNSS}^{géo}$ Désigne les coordonnées du centre de phase de l'antenne GNSS dans le repère géocentrique

$R_{SMF}^{géo}$ Désigne la matrice de rotation du repère du sondeur multifaisceaux au repère géocentrique

r_p^{SMF} Désigne les coordonnées du point P dans le repère du sondeur multifaisceaux

b^{SMF} Désigne le bras de levier entre la centrale d'attitude et le sondeur multifaisceaux

$R_{Lg}^{géo}$ Désigne la matrice de rotation entre le repère local de navigation et le repère géocentrique. Elle dépend de l'orientation du repère local géodésique par rapport au repère géocentrique. Cette orientation est calculable dès lors que la position de l'origine du repère Lg est connue par sa longitude et sa latitude. Ces dernières sont déterminées par le système GNSS, ou par le système couplé centrale d'attitude/système GNSS suivant l'algorithme utilisé.

R_{IMU}^{Lg} Désigne la matrice de rotation entre le repère de l'IMU et le repère local de navigation. Elle dépend de l'orientation du repère IMU par rapport au repère local géodésique. Cette orientation est donnée par les angles de roulis, tangage et lacet mesurés par la centrale d'attitude.

R_{SMF}^{IMU} Désigne la matrice de rotation entre le repère de l'IMU et le repère du sondeur multifaisceaux. Elle dépend de l'orientation relative du repère SMF par rapport au sondeur IMU. Elle est déterminée par un protocole expérimental d'ajustage des paramètres internes.

Une représentation de la définition de ces matrices est disponible en annexe 1. La méthode de positionnement du système étant expliquée, nous sommes prêts à mettre en place la solution instrumentale.

II.3 Mise en application d'un prototype expérimental

Nous procédons à l'installation d'un prototype expérimental afin de tester le couplage et la synchronisation des capteurs, ainsi que la collecte des données. À cet effet, il est crucial de définir les méthodes mises en place et les paramétrages matériels employés.

II.3.1 Bathymobile et montage matériel

En raison de l'impossibilité de nous rendre quotidiennement sur le bateau, nous avons mis en place ce que nous appellerons la Bathymobile. Il s'agit d'une solution temporaire permettant de vérifier le couplage et la communication entre les différents capteurs, avant d'effectuer les premiers levés sur le bateau. Pour cela, nous avons choisi l'utilisation d'un chariot sur lequel ont été disposés tous les équipements nécessaires à la bathymétrie et à la cartographie mobile. Cela nous permet donc de simuler un déplacement similaire à celui d'un bateau de manière à recueillir des données.

Pour la conception de ce chariot, il a fallu réfléchir en amont à une structure robuste capable de supporter les appareils et leurs supports, notamment, le sondeur multifaisceaux qui nécessite un milieu liquide pour fonctionner. Pour répondre à cette problématique nous avons installé un bac rempli d'eau sur la structure. Le choix du bac a été déterminé par la nécessité d'une profondeur minimale pour permettre une visualisation des données. Pour concevoir une structure convenable, nous avons tout d'abord imaginé

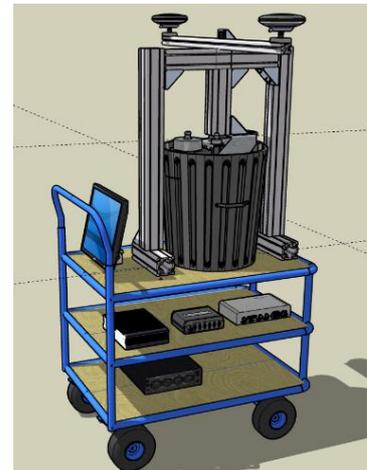


Figure 11 : Modélisation SketchUp de la Bathymobile (Photo personnelle)



Figure 12 : Bathymobile en fonctionnement (Photo personnelle)

un modèle sur le logiciel SketchUp (Figure 11). Une fois la structure dimensionnée, nous avons donc procédé aux découpes de la structure métallique et à la conception de celle-ci (Figure 12).

Le montage terminé, nous avons pu commencer les branchements permettant le couplage entre les appareils. Le schéma Figure 13 a été réalisé afin de pouvoir monter et démonter le système plus facilement et rapidement. Pour obtenir ce résultat nous avons donc dû déployer la Bathymobile en extérieur afin de recevoir les données GNSS mais aussi pour visualiser les variations de

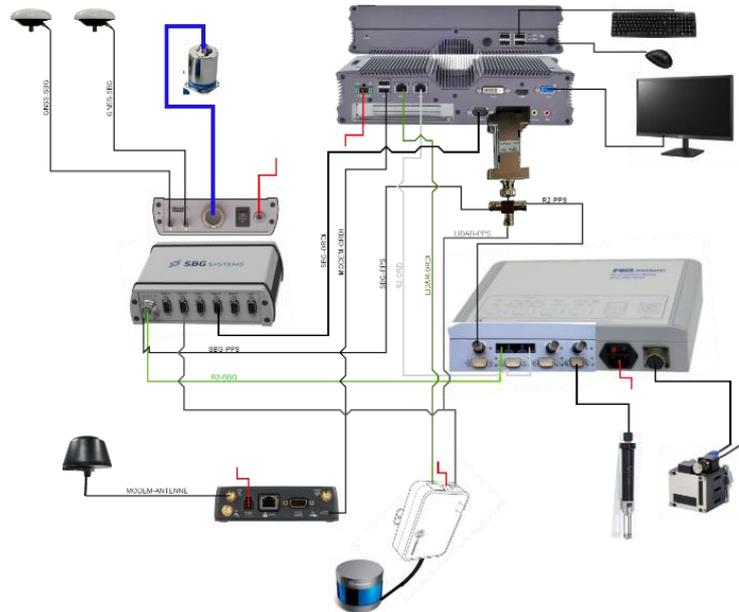


Figure 13 : Schéma du montage de notre système

tangage, lacet et roulis lors de nos déplacements. Ainsi, il a été pertinent de réaliser le montage de notre système sur un chariot mobile comme celui-ci.

L'intégration du LiDAR dans la suite instrumentale a nécessité plusieurs ajouts de câblage. En effet, le LiDAR commence tous les enregistrements au temps zéro plutôt que d'avoir son horloge synchronisée sur celle du GNSS comme les autres appareils. Nous devons alors envoyer une trame GNSS et un signal PPS au LiDAR pour corriger cela. Pour ce faire, un boîtier permettant de convertir le niveau RS-232 en niveau TTL a été nécessaire. Il a ensuite été indispensable de réaliser des branchements spécifiques en fonction de la broche à 6 pins que nous devons connecter au LiDAR. Nous obtenons donc le port RS-232 branché sur la centrale d'attitude. Celle-ci doit être paramétrée de sorte à envoyer la trame GNSS GPRMC au LiDAR par ce port. De plus, le câble BNC est branché sur le multi BNC

afin de récupérer le signal PPS au même titre que le sondeur multifaisceaux. Enfin, le port 6 pins est lui branché au LiDAR et permet alors de recevoir toutes ces informations (Figure 14). Malgré cette configuration, nous n'avons

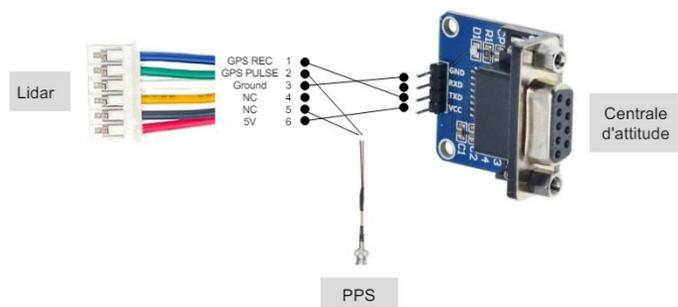


Figure 14 : Mise en place des branchements pour la connexion GNSS-LiDAR

pas réussi à obtenir des données LiDAR datées. Nous avons pourtant entrepris une multitude de tests en modifiant les branchements ou en utilisant une alimentation en 3,3V. Il s'est avéré difficile de réaliser des configurations de branchements fiables en raison d'un grand nombre de manuels d'utilisation, chacun avec des explications différentes. Il a donc été nécessaire de tester toutes les possibilités avant de conclure que nous ne recevions pas de datation. De plus, nous disposons d'un LiDAR datant de 2018 qui, d'après le support technique, ne peut pas recevoir les données de datation GNSS. Il nous est donc impossible d'obtenir des données datées. Nous expliquerons plus en détail en partie III.2.2.2 pourquoi la datation était un élément important.

La compréhension de ce système par les futurs utilisateurs a été une partie importante de ce TFE. C'est pourquoi, il a fallu, établir des fiches méthodologiques et des schémas visuels comme présentés ci-dessus, permettant de pouvoir réaliser le montage sans encombre.

Le câblage assure la communication entre les différents capteurs, cependant, sans une configuration appropriée des logiciels de chaque appareil, ces capteurs ne pourront pas interagir entre eux.

II.3.2 Couplage et paramétrages des capteurs

La prise en main des logiciels mais aussi la compréhension des paramètres à ajuster en fonction des levés ou des autres capteurs ont été un travail fastidieux qui nécessitait de nombreuses heures de réflexion. Une multitude de paramétrages sont disponibles, nous allons donc les différencier en deux parties afin de permettre une meilleure compréhension.

II.3.2.1 Paramétrage de couplage du système

Tout d'abord, au niveau informatique, chaque capteur dispose de sa propre adresse IP ainsi que de son propre port. L'adresse IP identifie de manière unique un ordinateur ou un appareil sur le réseau, tandis que le numéro de port spécifie l'application à laquelle les données sont destinées. Ainsi, lorsque l'ordinateur reçoit des informations pour un port particulier, ces données sont dirigées vers l'application correspondante (Comment ça marche, 2007).

Chaque appareil dispose d'un logiciel permettant de modifier ou de visualiser les paramétrages réseau. Une fois toutes les adresses IP renseignées, nous pouvons commencer

la configuration des entrées Ethernet sur l'ordinateur. Nous avons donc besoin de paramétrer le port correspondant aux deux capteurs communiquant avec l'ordinateur : sondeur multifaisceaux ainsi que le LiDAR, afin d'assurer la communication entre ces appareils et l'ordinateur (Figure 15). Nous pouvons visualiser l'arrivée des données sur I/O Tester disponible sur le logiciel Qinsky.

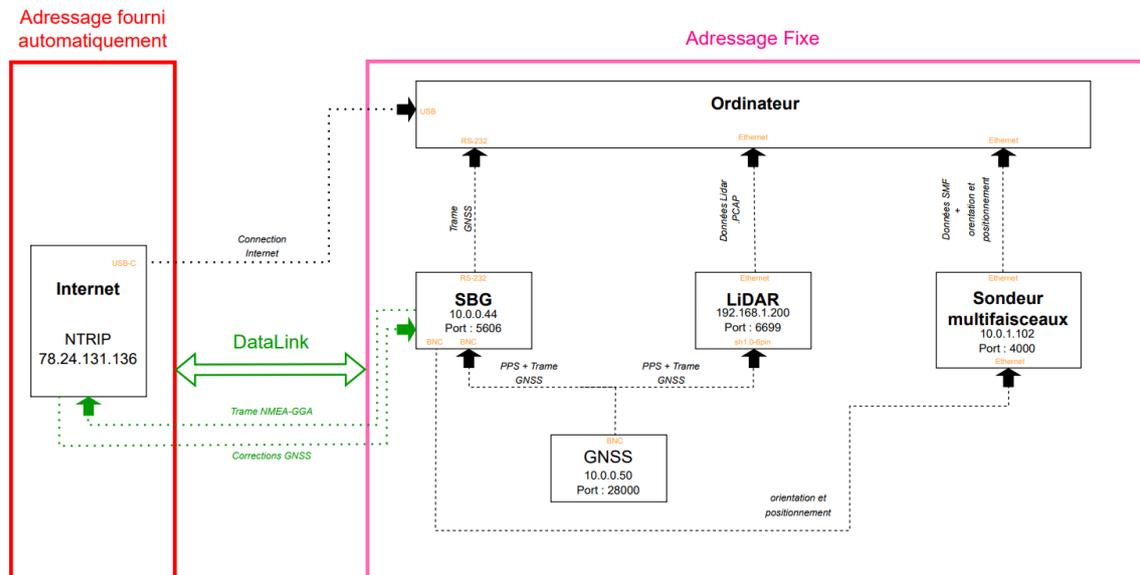


Figure 15 : Représentation du réseau de notre montage comprenant les ports et adresses IP (fixes ou automatiques) de chaque appareil composant notre système ainsi que les liens créés entre les deux adressages.

Un autre élément important à paramétrer est la connexion Internet. En effet, le modem 4G permet de diffuser Internet à l'ordinateur ce qui permet de recevoir les connexions GNSS du réseau Teria. Nous pensons que ces corrections étaient correctement reçues par les appareils. Cependant, lors de nos premières sorties sur la vedette nous avons constaté que les données levées n'étaient pas géoréférencées comme souhaité. En effet, nous avons des corrections en SBAS nous garantissant des précisions au mètre. Cela signifie que nous ne sommes pas en NRTK et que nous ne recevons pas en temps réel les corrections du réseau Teria. Nous avons finalement identifié l'origine du problème, qui provenait du fait que le réseau Internet ne parvenait pas jusqu'à la carte Trimble située dans la Split Box SBG. Autrement dit, l'Internet bien que présent sur l'ordinateur central, n'était pas connecté à l'ensemble des capteurs. En effet, la centrale d'attitude et notre sondeur multifaisceaux sont configurés sur un réseau privé avec un adressage fixe. Cependant, notre connexion Internet est en DHCP ce qui signifie un adressage automatique. Dans cette configuration, aucune communication n'est possible entre les capteurs et Internet (Figure 15).

Pour résoudre ce problème, nous avons installé le logiciel DataLink de la suite logicielle Septentrio RXcontrol. Nous l'avons utilisé afin de créer une connexion entre notre

GNSS et le réseau NTRIP Teria. Afin de réaliser la connexion et de recevoir des corrections en temps réel, plusieurs paramétrages sont nécessaires. Sur l'interface web Trimble, il faut configurer le GNSS pour qu'il envoie la trame NMEA-GGA permettant au serveur NTRIP d'envoyer les corrections qui correspondent à la position réelle de notre système. Dans DataLink, dans la première connexion, nous devons donc indiquer le serveur NTRIP, son adresse IP, le port correspondant et se connecter au réseau. Un élément important est le choix des points de montage spécifiques utilisés pour fournir des corrections différentielles GNSS. Nous choisissons ici les points PRS30 de Teria qui sont des sources de corrections RTK fournies par le réseau de stations de référence Teria (Figure 15). Une fois le système correctement couplé, nous pouvons alors nous concentrer sur le paramétrage de la configuration des capteurs.

II.3.2.2 Paramétrage technique des capteurs

Le sondeur multifaisceaux est un capteur possédant une multitude de paramètres à ajuster en fonction de nos levés. Il est donc important de savoir quelles modifications peuvent être apportées en fonction de nos besoins. Tout d'abord, plusieurs fréquences sont disponibles, allant de 200 kHz à 4500 kHz (R2Sonic, 2021). Le choix de la fréquence est important car une fréquence élevée permet d'avoir une meilleure résolution et plus de détails. Cependant, elles sont plus rapidement atténuées dans l'eau et ont donc une plus faible portée. Les faibles fréquences sont alors utilisées pour des levés à plus grandes profondeurs. Il faut alors faire varier ce paramètre afin d'obtenir une meilleure résolution pour notre nuage de points. Un taux de ping doit également être défini. Il correspond à la fréquence maximale à laquelle le sondeur peut émettre des impulsions acoustiques par seconde. Un taux de ping élevé permet d'avoir une collecte de données plus fréquente, améliorant ainsi la résolution et la densité des levés. Le taux de ping, pour le sondeur R2Sonic 2020, peut varier entre 10 Hz et 60 Hz (R2Sonic, 2021). Il est également important de choisir la fauchée du levé, qui se réfère à la largeur de la zone couverte, en fonction de la couverture souhaitée. Un angle plus large couvrira une plus grande surface mais réduira la résolution. Le paramètre « bottom Sampling », ou échantillonnage du fond, se réfère à la manière dont les faisceaux acoustiques sont répartis pour échantillonner le fond marin. Il existe différents modes pour ce paramètre. Le premier est le mode équidistant qui répartit les faisceaux de manière égale sur le secteur de levé, ce qui est idéal pour un fond marin plat et des conditions de mer calme avec peu de roulis. Le second mode est le mode équiangulaire, où les faisceaux sont répartis avec des

valeurs d'angle uniformément réparties. Ce mode est approprié pour une topographie variée et des secteurs nécessitant des angles d'ouverture larges. Le mode de mission peut également être modifié, avec principalement deux options. Le mode « Down, Bathy norm » est utilisé pour effectuer des levés où le sondeur cartographie le fond de manière traditionnelle. Le mode « Down, Bathy V » permet de cartographier des surfaces verticales sans rotation du sondeur.

Concernant les paramètres de la centrale d'attitude SBG, ils sont moins nombreux. Par exemple, comme pour tout appareil nous pouvons choisir de changer l'adresse IP de notre centrale SBG, cependant, un élément crucial pour le bon fonctionnement de notre système est l'étalonnage de la centrale d'attitude dont la méthode sera détaillée dans la partie III.1.1. Nous allons ici nous concentrer sur les paramètres à renseigner dans l'interface web SBG. Nous devons ainsi, entrer les bras de levier des GNSS calculés par nos soins ainsi que le type d'antennes utilisées. De plus, il est essentiel de spécifier le point de référence de notre système, dans notre cas, nous choisissons la petite cible située sur la centrale comme point de référence pour l'ensemble de notre système de levé. Nous pouvons aussi paramétrer tous les ports d'entrée et de sortie de la centrale, une étape préalablement réalisée lors du couplage des appareils.

Concernant les GNSS, plusieurs paramètres importants doivent être définis sur l'interface web. Tout d'abord, le mode de positionnement doit être configuré en cinématique car nous réalisons des levés en mouvement. Les ports de communication doivent également être paramétrés. En fonction de cela, il est nécessaire de définir les sources de corrections, dans notre cas, nous choisissons le mode NTRIP afin de recevoir les corrections via Internet, ainsi que le format de ces corrections, dans notre cas RTCM est le format souhaité. Pour le Lidar, nous disposons de peu d'option de paramétrage.

II.3.3 Couplage des données provenant des capteurs grâce aux logiciels

La suite bathymétrique fonctionne grâce à plusieurs logiciels permettant de paramétrer, non pas les capteurs que nous avons détaillés précédemment (Partie II.3.2.2), mais bien le couplage des données. Le premier logiciel nécessaire est Qinsky qui permet de configurer la base de données avant le levé. En effet, nous devons commencer par créer une database contenant les informations nécessaires au couplage des données. Les premières informations à renseigner lors de la création de la base de données sur Qinsky sont le système de coordonnées et la projection utilisés. Pour notre futur levé, nous choisissons le système

WGS84 ainsi que la projection Lambert Conique Conforme. Il est également important de définir le modèle et les dimensions du bateau utilisé afin d'apporter des corrections de mouvement. Il faut ensuite renseigner les informations sur les capteurs tels que les récepteurs GNSS utilisés, configurer le sondeur multifaisceaux en fonction du modèle, ainsi que la centrale d'attitude. Afin que Qinsky reconnaisse les données de ces capteurs, il est nécessaire de renseigner le port utilisé par chaque capteur ainsi que tous les bras de levier associés. Il est aussi essentiel de paramétrer le PPS afin de synchroniser tous les appareils entre eux. Nous choisissons de synchroniser l'ensemble de notre système sur la centrale d'attitude, car c'est elle qui nous fournit le temps GNSS.

Une fois la base de données créée, nous pouvons configurer les affichages qui seront nécessaires à notre levé. Ces affichages permettent de visualiser en temps réel la zone de levé ainsi que les données acquises. Nous pouvons donc suivre notre système sur une carte, visualiser les données du sondeur multifaisceaux en direct, observer la vitesse de déplacement, la profondeur et paramétrer des seuils de réception afin que le logiciel nous avertisse lors de pertes de données (Annexe 2). Toutes ces fenêtres peuvent être visibles, ou non, mais elles doivent être créées en amont du levé afin que tout soit opérationnel sur le terrain.

Afin de visualiser les données en temps réel avec un aplat de couleur, une grille de sondage peut être créée. Elle va nous permettre de visualiser les données bathymétriques en couleur, facilitant l'interprétation des profondeurs mesurées avant le transfert des données sur le logiciel Qimera. La grille de sondage est une représentation raster des données de profondeur, avec une couleur définie en fonction de la profondeur de l'eau. Cette grille doit également être créée en amont du levé pour que le raster soit correctement stocké dans un fichier. Plusieurs paramètres peuvent être configurés lors de la création de la grille, telles que les couleurs, la taille des cellules, les méthodes d'interpolations, etc. La grille de sondage est donc visualisable seulement dans la fenêtre nommée « navigation » dans laquelle nous pouvons aussi suivre le bateau en temps réel sur une carte.

Concernant le couplage du LiDAR, nous avons rencontré plusieurs problèmes. En effet, la solution idéale aurait été que le LiDAR soit reconnu par le logiciel Qinsky, ce qui aurait permis de le paramétrer comme un autre capteur au sein de la suite instrumentale Qinsky. Cependant, bien que plusieurs LiDAR aient été disponibles, le LiDAR Robosens RS LiDAR 16 n'est pas reconnu par Qinsky. Nous avons pendant quelque temps envisagé d'utiliser les paramètres d'un système jumeau, le Velodyne VLP 16 en espérant que nous

pourrions trouver une configuration qui permettrait à Qinsy d'utiliser les trames de données produites par le Robosens. Malheureusement, cela n'a pas fonctionné, car bien que ces deux LiDAR aient des similitudes, des différences non négligeables sont perçues par Qinsy ce qui empêche l'intégration correcte du Robosens dans le logiciel.

Nous nous sommes donc posé plusieurs questions quant au couplage des données LiDAR de notre système. Nous nous sommes alors interrogés sur la conservation du LiDAR Robosens. En effet, il est possible d'exporter les données de la centrale d'attitude pour les coupler aux données LiDAR brutes. Cela nous permet de produire un nuage de points géoréférencé ayant les mêmes paramètres d'orientation et positionnement que le nuage de points bathymétrique. Cependant, nous avons été confrontés à d'autres problèmes concernant la suite logicielle. Il nous fallait disposer d'un ou plusieurs logiciels permettant la création d'une trajectoire à partir des données exportées de la centrale d'attitude puis de coupler cette trajectoire aux données brutes LiDAR afin d'obtenir un nuage de points géoréférencé. Le choix de logiciel était limité car nous avons constaté que les constructeurs conçoivent des formats de données exportées pour qu'elles puissent seulement être traitées avec les logiciels constructeurs. Par conséquent, nous avons opté pour le logiciel Qinertia de SBG permettant la combinaison de données INS et GNSS (Renvoi Partie II.1.2.2). La trajectoire calculée doit ensuite être fusionnée avec les données brutes LiDAR. Pour cela, nous avons aussi rencontré plusieurs difficultés afin de choisir un logiciel permettant de faire cette action.

La suite instrumentale opérationnelle, les capteurs et logiciels configurés, nous pouvons donc maintenant tester la suite sur la vedette Léon Foucault.

III Application sur la Sarthe et résultats

La suite instrumentale est donc testée sur une zone d'étude située près d'Arnage, le long de la Sarthe. Cette rivière, navigable sur environ 130 kilomètres dans le département de la Sarthe, présente des caractéristiques variées, allant de larges sections paisibles à des passages plus étroits et rapides. Le domaine public fluvial navigable, géré par le département, est d'un intérêt particulier pour cette étude. La zone retenue est particulièrement intéressante, car elle dispose de plusieurs particularités nécessaires pour l'étalonnage des appareils et la confirmation de leur fonctionnement.



Figure 16 : Zone d'étude sur la Sarthe (Source : Géoportail)

III.1 Protocole d'acquisition lors du levé

III.1.1 Méthode d'acquisition et paramètres

Comme expliqué précédemment, nos appareils disposent de divers paramétrages. Nous allons donc détailler les paramètres retenus ainsi que la méthode mise en place pour réaliser les levés. Nous allons cartographier le fond du fleuve ainsi que les berges de la zone choisie. L'acquisition des données se fait simultanément en utilisant différents logiciels (Renvoi partie II.1.2.2).

La première étape, comme décrit dans la Partie II.3.3, consiste à effectuer un travail en amont du levé afin de préparer la base de données d'acquisition ainsi que les connexions entre les appareils. Une fois sur le site, il convient de déployer les équipements, préalablement organisés dans une mallette spécialement conçue pour les opérations de levé ou montés sur la perche positionnée à l'avant du navire. Une fois l'instrumentation en place

(Figure 17), l'attention se porte sur la configuration des capteurs et les ajustements des paramètres en fonction des spécificités de la zone d'étude.



Figure 17 : La vedette bathymétrique Léon Foucault équipée des instruments de mesure (Photo personnelle)

Le sondeur multifaisceaux est utilisé avec une fréquence de 400 kHz et un taux de ping de 20 Hz. La fauchée est modifiée tout au long du levé grâce à l'interface permettant en direct d'augmenter ou diminuer cet angle. Étant donné que la Sarthe présente principalement un fond plat, nous utilisons les modes Equidistant et « Down Bathy norm » qui permettent d'avoir un levé opérant avec les caractéristiques de notre zone d'étude.

Nous vérifions ensuite que tous les appareils sont bien couplés à l'ordinateur à l'aide de l'I/O tester disponible sur Qinsy. Une fois ce contrôle effectué, nous nous penchons sur les vérifications propres à chaque capteur. Nous commençons par activer la connexion sur le logiciel DataLink afin de recevoir les corrections GNSS du serveur NTRIP. Une fois cette opération réalisée, nous vérifions sur l'interface web de Trimble la méthode de positionnement de nos GNSS, en vérifiant que l'option RTK Fixé est active, ce qui confirme que les corrections NTRIP Teria sont bien reçues par la carte Trimble. Nous utiliserons nos antennes GNSS en appliquant la méthode de positionnement cinématique temps réel NRTK avec le réseau TERIA. Les coordonnées obtenues ont donc une précision entre 2 et 5 centimètres.

Ensuite, nous renseignons les bras de levier des GNSS dans l'interface de la centrale d'attitude. La centrale d'attitude, étant couplée aux GNSS, a besoin de connaître cette information pour fonctionner convenablement. Même si une haute précision n'est pas indispensable car nous effectuerons par la suite un étalonnage de la centrale. Cet étalonnage implique de réaliser des manœuvres en forme de huit ainsi que de faire des variations de

vitesse en faisant des accélérations. Ce protocole permet à la centrale d'être exposée à une gamme de mouvements complète afin de pouvoir corriger nos données des mouvements du mobile. Une fois l'étalonnage réalisé, nous pouvons commencer les acquisitions. Nous lançons l'acquisition des données de la centrale SBG qui sont stockées sur le Data Logger interne à la centrale SBG. En parallèle, nous lançons les acquisitions sur le logiciel RSView pour sauvegarder les données LiDAR.

Comme expliqué dans la partie II.3.3, le lever nécessite que plusieurs logiciels soient mis en route simultanément. Nous ouvrons donc le logiciel Qinsy et plus particulièrement le mode online. Ce mode permet de gérer plusieurs capteurs en temps réel, mais aussi d'effectuer l'enregistrement des capteurs définis dans la database créée en amont. Nous commençons par effectuer l'étalonnage des capteurs dont les protocoles sont expliqués dans la partie III.1.2. Puis, nous lançons l'enregistrement des données Qinsy en effectuant des passages parallèles sur la zone à lever. Il faut faire attention à éteindre et redémarrer l'enregistrement des données à chaque passage. Nous récupérons ensuite les différentes données aux endroits de stockage prédéfinis.

Il est bien évidemment important de garder en surveillance tout au long du levé, à travers différentes petites icônes, que tous les appareils sont bien reçus et fonctionnent correctement.

III.1.2 Méthode d'étalonnage du système

La méthode d'acquisition mise en place, nous devons maintenant nous concentrer sur la méthode d'étalonnage de notre système, tant pour le sondeur multifaisceaux que pour le LiDAR.

L'étalonnage des sondeurs multifaisceaux et des systèmes LiDAR, connu sous le nom de "patch test", est essentiel pour garantir la précision et la fiabilité des données collectées. Ce processus permet de détecter et de corriger les erreurs systématiques liées à l'alignement des capteurs, à la synchronisation et aux conditions environnementales. En réalisant des levés de contrôle dans des conditions spécifiques, le patch test assure des mesures précises et cohérentes, facilitant l'intégration de données provenant de différentes sources et périodes. Cette étape cruciale est fondamentale pour des analyses rigoureuses et des applications fiables en cartographie, ingénierie et sciences environnementales.

III.1.2.1 Étalonnage du sondeur multifaisceaux

Le système composé d'un sondeur multifaisceaux nécessite un étalonnage des axes de roulis, tangage et lacet. Le roulis est représenté par un mouvement d'oscillation autour de l'axe vert (Figure 18) qui correspond à l'inclinaison latérale du navire. Le tangage, représenté par l'axe bleu, correspond à un mouvement d'inclinaison de l'avant vers l'arrière. Enfin, le lacet, représenté en orange, est un mouvement de rotation autour de l'axe vertical, caractérisant la dérive directionnelle du navire.

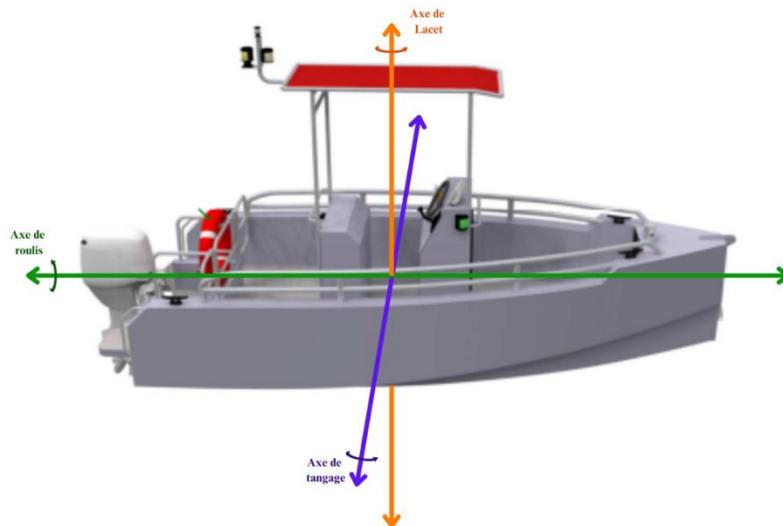


Figure 18 : Représentation des axes de roulis, tangage et lacet sur la vedette Léon Foucault

L'étalonnage de ces trois axes est à réaliser en amont du levé et il permet de compenser les angles de roulis, tangage et lacet pour toutes les données. Les Patch tests permettent de vérifier les alignements des trois axes entre les différents capteurs.

Cette méthode, appelée Patch Test, ne nécessite pas de points connus et est gérée de façon automatique par Qinsky ou Qimera. Un protocole strict doit donc être suivi. Il faut réaliser des levés répétés des mêmes zones, mais dans des sens variés. Un ordre spécifique de levé est nécessaire pour le traitement des angles d'orientation. Cet ordre est donc le suivant : roulis, tangage, lacet et temps de latence. Le temps de latence correspond, lui, au temps entre la transmission des informations du sondeur et de la centrale d'attitude. Dans notre cas nous ne réaliserons pas ce dernier étalonnage car nous disposons de connexions PPS qui permettent la synchronisation de temps entre les différents capteurs. Un protocole différent pour chaque angle a donc été mis en place.

Nous commençons donc par l'étalonnage de l'angle de roulis. Afin de l'estimer, nous réalisons un aller-retour identique mais en sens opposé sur un fond relativement plat et linéaire.

L'étalonnage du tangage doit, quant à lui, se réaliser sur un terrain naturellement plat puis avec une pente assez brusque. Nous devons réaliser deux passages suivant le même trajet à la même vitesse mais en sens opposé.

Pour la détermination de l'angle de lacet, il s'effectue à l'aide de deux trajets dans le même sens et parallèles. Le but est d'obtenir un recouvrement de données entre deux cheminements autour d'un objet ou d'une zone caractéristique. Voici un schéma récapitulatif (Figure 19) du protocole à suivre :

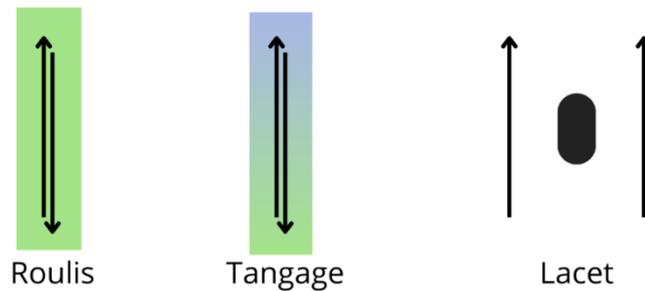


Figure 19 : Illustration des passages à réaliser pour l'étalonnage du sondeur multifaisceaux

III.1.2.2 Etalonnage du LiDAR

Il est aussi important de réaliser des patch tests pour le LiDAR. Il existe une faible différence dans l'étalonnage du LiDAR par rapport au sondeur multifaisceaux. La différence réside dans le fait que les données sont désormais

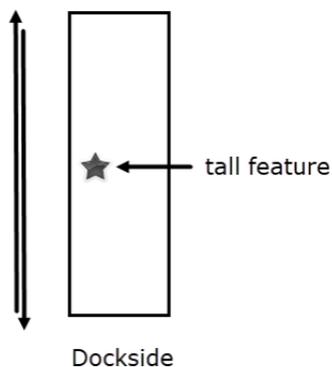


Figure 21 : Illustration des passages à réaliser pour l'étalonnage de l'angle de tangage du LiDAR (EIVA, 2020)

enregistrées verticalement et non horizontalement, ce qui signifie que les méthodes d'étalonnage seront différentes. En effet, afin de réaliser l'étalonnage de l'angle

de roulis, nous devons réaliser un levé sur la même ligne dans les directions opposées, en utilisant sur un des côtés un mur de quai par exemple. Il faut que ce soit un objet sur la longueur se situant à environ 30 ou 40 mètres de distance (Figure 20).

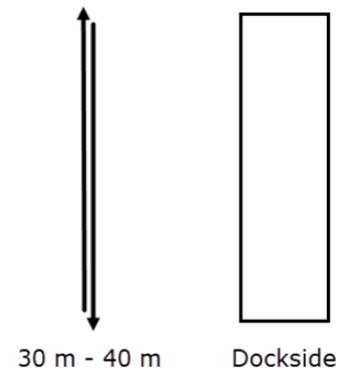


Figure 20 : Illustration des passages à réaliser pour l'étalonnage de l'angle de roulis du LiDAR (EIVA, 2020)

Concernant l'angle de tangage, nous devons utiliser une structure en hauteur telle qu'un poteau ou un bâtiment. Les levés doivent être réalisées de manière identique dans deux sens différents (Figure 21).

Enfin, pour l'angle de lacet, nous devons utiliser deux lignes, parallèles, autour d'un objet haut tel qu'un poteau. La meilleure option consiste à réaliser un passage parallèle de chaque côté de l'objet dans la même direction. Mais si cela n'est pas possible, nous pouvons réaliser deux passages parallèles, du même côté du poteau mais à des distances différentes (Figure 22). (EIVA, 2020)

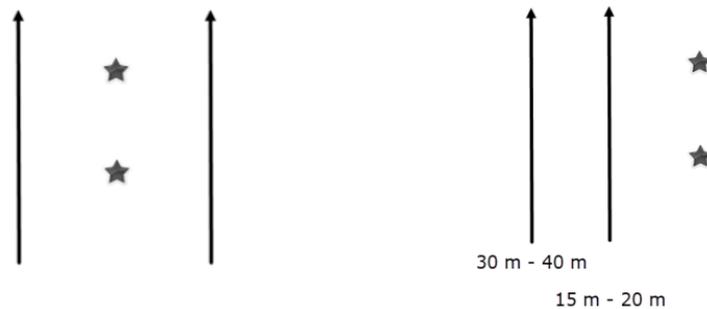


Figure 22 : Illustrations des passages à réaliser pour l'étalonnage de l'angle de lacet du LiDAR (EIVA, 2020)

III.2 Traitement des données

À la suite de la mise en œuvre des protocoles d'acquisition et à la réalisation des relevés, nous pouvons désormais nous consacrer au traitement des données. Nous débuterons par l'examen des résultats des étalonnages, avant de nous atteler au traitement des nuages de points.

III.2.1 Résultats de l'étalonnage

Il faut donc, en amont du levé, après avoir réalisé toutes les vérifications, ainsi que l'étalonnage de la centrale d'attitude, mettre en place l'étalonnage des angles de roulis, tangage et lacet. Nous effectuons les levés et devons ensuite effectuer les traitements afin d'identifier les erreurs d'alignement.

III.2.1.1 Résultats de l'étalonnage du sondeur multifaisceaux

Lors de nos levés, nous devons réaliser des passages précis et superposés. Cependant, cela s'est avéré plutôt compliqué et lorsque nous avons réalisé l'étalonnage des patch tests

du sondeur multifaisceaux sur Qimera, nous nous sommes aperçus que les passages réalisés n'étaient pas assez précis et nous ne disposions pas réellement d'une zone propice à l'étalonnage du sondeur multifaisceaux contrairement à ce que nous pensions. Nous obtenons donc une valeur d'angle de roulis de 1,075 degrés mais nous ne pouvons pas réaliser l'étalonnage des angles en tangage et lacet.

III.2.1.2 Résultats de l'étalonnage du LiDAR

Concernant les patch tests LiDAR, il nous a été impossible de les réaliser. En effet, le LiDAR n'étant pas correctement daté (voir partie II.3.1) il nous est impossible de créer un nuage de points géoréférencé, et donc de traiter les patch tests.

III.2.2 Traitements des nuages de points

III.2.2.1 Bathymétrie

Après le traitement des patch tests, nous pouvons nous concentrer sur le traitement des données collectées. En effet, nous devons réaliser un traitement des données sur Qimera après l'application des angles calculés lors des patch tests. Nous pouvons ensuite réaliser une surface dynamique qui est une représentation maillée des données bathymétriques, mise à jour en temps réel à mesure que de nouvelles données sont importées et traitées. Ensuite, nous pouvons réaliser un nettoyage de nos données permettant de supprimer le bruit ou les potentiels artefacts. Nous pouvons voir sur l'annexe 4 une surface dynamique brute.

Nous obtenons donc notre modèle final nettoyé représentant la bathymétrie de la zone levée. Nous couplons ensuite nos données avec une carte permettant d'avoir une visualisation complète des données acquises et traitées.

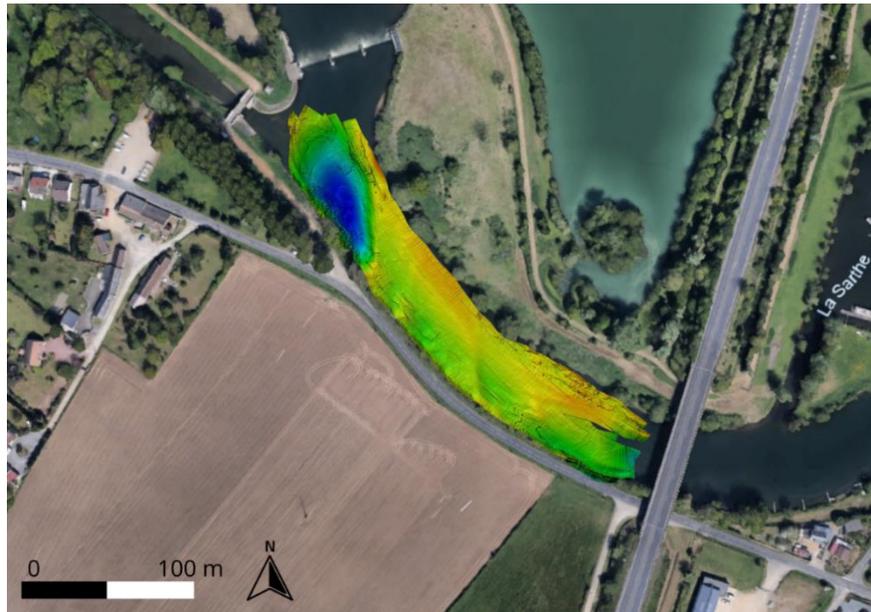


Figure 23 : Représentation du levé bathymétrique sur la Sarthe

De plus, lors de nos levés, nous avons remarqué que durant nos passages sous le pont les signaux GNSS étaient perdus. Les données obtenues n'étaient pas exploitables car nous obtenons des précisions à plus de 1 mètre (Figure 24). Nous avons donc réfléchi à une solution pour répondre à la problématique d'affouillement près des ouvrages posée en introduction. Pour cela, il est évident que le passage sous les ponts est inévitable. Nous nous sommes alors tournés vers le logiciel Qinertia permettant de fusionner les données GNSS et de la centrale d'attitude, même en cas de perte temporaire du signal GNSS. Il est donc intéressant d'utiliser ce logiciel en cas de perte de signal afin de recréer une trajectoire. Cette trajectoire peut ensuite être ajoutée dans le logiciel Qinsy ou Qimera ce qui nous permet de fusionner les données bathymétriques du sondeur multifaisceaux avec la nouvelle trajectoire calculée. Il est cependant important, lors du levé, de réaliser des allers-retours sous le pont tout en effectuant des demi-tours assez éloignés du pont permettant de récupérer un signal GNSS entre chaque passage. Ce protocole nous permet donc d'obtenir une précision inférieure à 10 centimètres pour l'ensemble de nos données de trajectoire. Qinertia nous permet de réaliser des graphiques permettant de visualiser la précision avant et après traitement que nous pouvons visualiser en Figure 24.

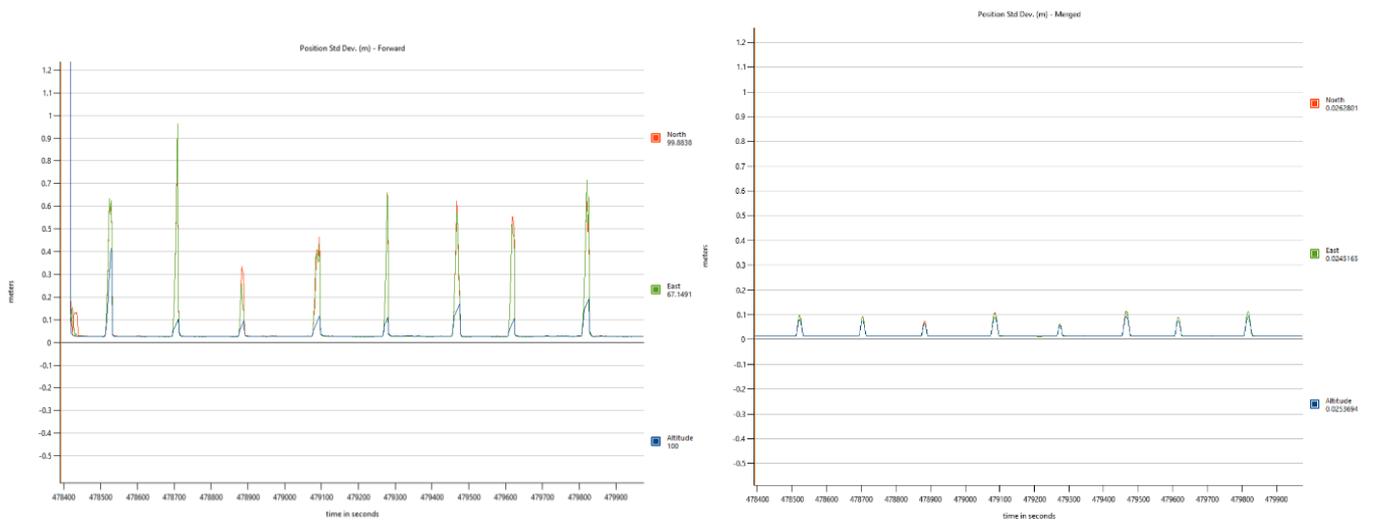


Figure 24 : Représentation des erreurs de la trajectoire avant et après traitement sur Qinertia

Nous pouvons ensuite appliquer le même protocole de traitement des données, en important la nouvelle trajectoire calculée dans le logiciel Qimera. Après avoir procédé au traitement des données, nous constatons une amélioration significative, tant sur les trajectoires des relevés que sur la surface dynamique générée (Figure 25). Voir annexes 2, 3 et 4.

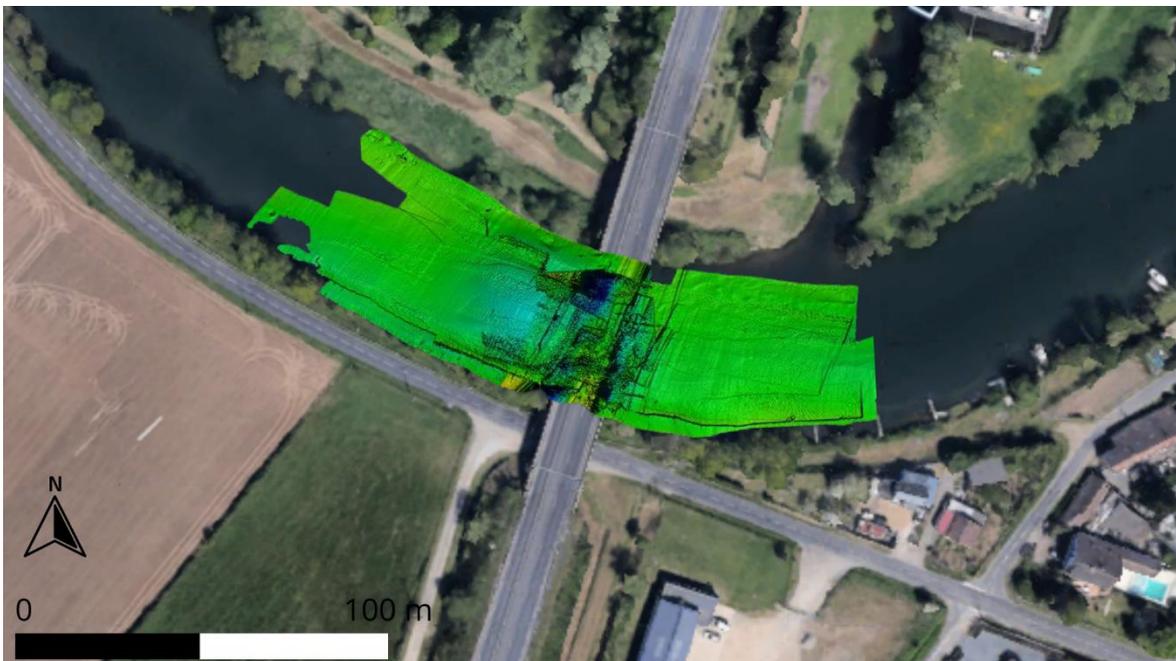


Figure 25 : Représentation d'un levé bathymétrique sur la Sarthe, sous un pont après traitement

III.2.2.2 Terrestre

Concernant le traitement du nuage de points LiDAR, nous avons rapidement constaté que les données LiDAR ne recevaient pas de datation GNSS. En effet, afin de coupler les données LiDAR brutes aux données de trajectoire il est nécessaire de bénéficier d'une synchronisation temporelle. En ayant les deux informations datées de la même manière, c'est-à-dire suivant le GNSS, nous pouvons les coupler et obtenir un nuage de points géoréférencé. Cependant, comme expliqué dans la partie II.3.1, malgré l'ajout du module de conversion TTL-RS232, il est impossible d'ajouter l'information de la datation GNSS sur les données brutes LiDAR. Le support technique nous a alors informés que le LiDAR utilisé était trop ancien pour recevoir ce type d'information. Il ne nous est donc impossible d'obtenir un nuage de points géoréférencé de notre levé terrestre. L'ensemble du protocole de traitement des données LiDAR avec les logiciels présentés en partie II.1.2.2 ne peut donc pas être mis en place. Seul le calcul d'une trajectoire peut être effectué sur le logiciel Qinertia, mais les données traitées ne peuvent pas être couplées à nos données brutes.

III.2.2.3 Couplage

Par conséquent, il n'est pas possible de réaliser le couplage des données bathymétriques et LiDAR, en assemblant les informations en un seul et unique nuage pour les levés bathymétrique et terrestre. Nous étudierons en partie III.4.2 comment un couplage est possible en réalisant des changements dans notre suite instrumentale.

III.3 Difficultés rencontrées

III.3.1 Installation

Lors de l'installation de la suite matérielle bathymétrique, nous avons rencontré plusieurs obstacles. Tout d'abord, comme expliqué dans l'introduction, cette suite avait déjà été fonctionnelle dans le passé. Cependant, les capteurs ainsi que l'ordinateur ont été prêtés à une entreprise dont les caractéristiques d'installation et les spécificités du bateau différaient des nôtres. Par conséquent, les paramétrages logiciels et matériels avec notre configuration ont été modifiés et supprimés. Nous avons donc entrepris l'installation sans réellement d'informations concernant l'ancienne configuration fonctionnelle, tant pour les branchements que pour les paramétrages logiciels. Il a donc été nécessaire de reprendre l'installation presque comme si la suite n'avait jamais été opérationnelle.

III.3.2 Intégration du LiDAR

L'intégration du LiDAR a été un travail au cours duquel nous avons rencontré de nombreuses difficultés. En effet, le LiDAR n'avait jamais été utilisé en tant que LiDAR mobile en temps réel. De plus, comme détaillé dans la partie II.3.1, il a été délicat de mettre en application les protocoles proposés pour résoudre nos problèmes en raison de l'ancienneté du LiDAR. En effet, toutes les solutions mises en place se sont avérées non fonctionnelles.

De plus, ce LiDAR ne disposant pas de suite logicielle constructeur permettant de traiter les données, il a donc été particulièrement complexe de trouver des logiciels capables de réaliser les différentes étapes afin d'obtenir un nuage de points géoréférencé. De plus, cela aurait nécessité l'achat de deux licences logicielles permettant le fonctionnement de la suite terrestre.

En combinant les difficultés matérielles et logicielles rencontrées, l'intégration du LiDAR dans la suite instrumentale n'a pas abouti et nous n'avons pas réussi à réaliser des levés. Cependant, nous pouvons proposer des solutions permettant de contrer ces freins rencontrés.

III.4 Perspectives et amélioration de la suite instrumentale

III.4.1 Concernant la suite Bathymétrique

Nous pouvons donc conclure que la suite bathymétrique est fonctionnelle mais que nous devons réaliser des patch tests sur une zone plus adaptée, cependant, au vu des résultats obtenus, la suite est fonctionnelle et opérationnelle. Quelques améliorations sont possibles afin d'obtenir un nuage plus précis.

Tout d'abord, avec l'ajout de la sonde de vitesse SVP que nous n'avons pas utilisée lors de nos levés par manque de temps et parce que nous travaillions à faible profondeur. Nous avons estimé que la précision obtenue, au dixième de centimètre, permettrait de se passer de cette sonde. Cependant, l'utilisation de la sonde, même en rivière, pourrait nous permettre d'obtenir des résultats beaucoup plus précis. Par exemple, pour les fosses atteignant presque 8 mètres de profondeur, nous aurions pu effectuer des profils de vitesse afin de corriger les données.

Concernant le système GNSS, une autre approche aurait pu être envisagée. Celle de mettre un pivot à proximité de la zone d'étude et d'extraire nos données afin de les post-

traiter et donc de ne pas travailler en temps réel mais en PPK. Cependant, cette option n'est pas envisageable car le matériel ne permet pas d'extraire les données brutes GNSS. Toutefois, cette solution pourrait être mise en place si une précision plus fine est nécessaire par la suite.

III.4.2 Concernant la suite terrestre

Nous ne disposons donc pas actuellement d'une suite terrestre opérationnelle. Cela est dû à plusieurs facteurs, à la fois matériels et logiciels (renvoi partie III.3.2). Cependant, il semble possible de proposer une solution en accord avec l'instrumentation déjà fonctionnelle.

Selon nous, la solution la plus en accord avec la solution bathymétrique est de réussir à intégrer le LiDAR dans la suite instrumentale via Qinsy. Cette intégration permettrait de résoudre de manière exhaustive, toutes les problématiques relatives à la fusion des données provenant de la centrale d'attitude, des GNSS et du LiDAR. De plus, cela permettrait d'effectuer l'étalonnage du LiDAR sur Qinsy ou Qimera, en suivant la méthodologie décrite en partie III.1.2.2.

Mettre en place ce système permettrait d'obtenir un nuage de points fusionné, englobant les données bathymétriques et terrestres, en utilisant des logiciels déjà intégrés dans notre système. Cependant, la raison pour laquelle nous n'avons pas mis en place cette configuration est qu'il faut que nous disposions d'un LiDAR compatible avec la liste des LiDAR pris en charge par Qinsy. Malheureusement, le Robosens ne figure pas dans cette liste de compatibilité. En revanche, un LiDAR similaire est pris en charge par Qinsy, le Velodyne VLP-16. Afin de rendre la suite instrumentale terrestre fonctionnelle et optimisée, il est donc impératif que le laboratoire fasse l'acquisition d'un LiDAR compatible. La mise en place de celui-ci sera ensuite assez simple en reprenant les fiches méthodologiques et les protocoles établis durant ce TFE.

Conclusion

L'objectif de ce travail de recherche était de déployer une suite instrumentale multicapteur sur la vedette bathymétrique Léon Foucault afin d'assurer un suivi des fonds et des berges de la Sarthe. Cette installation, en collaboration avec le Département de la Sarthe, vise à traiter des problématiques de dynamique fluviale telles que l'érosion des fonds et des berges, l'affouillement près des ouvrages ainsi que les dépôts sédimentaires.

La compréhension du système et des capteurs constituait la première étape essentielle de cette étude. L'installation et le couplage des appareils ont été réalisés grâce à la mise en place de la Bathymobile, qui permet de simuler les mouvements de la vedette. Une partie importante de ce travail consistait en l'intégration du LiDAR Robosens dans notre suite instrumentale. Nous avons rencontré plusieurs difficultés tant au niveau de l'installation que de l'intégration, notamment l'incapacité à transmettre les données de datation du GNSS aux données LiDAR. Malgré la mise en place de plusieurs protocoles, nous avons conclu que le Lidar, trop ancien, ne permettait pas de réaliser des levés mobiles en temps réel. Par la suite, des protocoles d'acquisition ont été établis pour mener les premiers tests sur l'eau, en commençant l'acquisition des données d'étalonnage des deux capteurs à intégrer, le sondeur multifaisceaux et le LiDAR. Nous avons ensuite effectué le levé de la zone souhaitée. De retour au bureau, nous avons rencontré des difficultés dans le traitement des données des patch tests, en raison de l'absence de caractéristiques adéquates pour l'étalonnage dans la zone choisie. Néanmoins, nous avons produit des modèles bathymétriques acceptables malgré la présence d'une erreur due aux patch tests.

Concernant les données LiDAR, l'absence de datation nous a empêchés de générer un nuage de points et de coupler ces données avec celles de la bathymétrie, conformément à nos objectifs. Nos objectifs futurs incluent donc l'acquisition d'un LiDAR compatible avec le logiciel Qinsky, facilitant ainsi son intégration dans la suite instrumentale avec l'utilisation de logiciels déjà disponibles au laboratoire.

En conclusion, l'objectif de ce travail a été partiellement atteint, avec une suite bathymétrique fonctionnelle, mais l'intégration du LiDAR non réalisée. L'ensemble des protocoles a été établi pour le sondeur multifaisceaux et le LiDAR ce qui permettra une utilisation immédiate dès l'acquisition d'un LiDAR adéquat.

Bibliographie

Articles scientifiques :

ABAIE, A. 2018. Le sondeur multifaisceaux en hydrographie : utilisations actuelles et futures. *Revue XYZ*. 2018, 157.

CADDEN. 2022. La Tamise au Lidar et sondeur multifaisceaux pendant OI 2022. *CADDEN*. [En ligne] 2022. [Citation : 2024 Juillet 02.] <https://www.cadden.fr/tamise-lidar-sondeur-multifaisceaux/>.

Centre de Ressources Loire nature. 2018. *Sélection de documents sur les sédiments et la dynamique fluviale*. 2018.

Comment ça marche. 2007. Internet - Notion de port. [En ligne] 2007. [Citation : 04 Juin 2024.] <https://web.maths.unsw.edu.au/~lafaye/CCM/internet/port.htm#:~:text=L%20adresse%20IP%20sert%20donc,envoy%C3%A9es%20vers%20l%27application%20correspondante..>

de Chambure, Laurent. 2011. *Calcul de volumes sédimentaires extraits (ou déposés) à partir de levés bathymétriques successifs*. 2011.

EIVA. 2020. *LIDAR PATCH TEST CALIBRATION*. 2020.

Elhashash, Mostafa, Albanwan, Hessah et Qin, Rongjun. 2022. A Review of Mobile Mapping Systems: From Sensors to Applications. *MDPI*. 2022, 4262.

Hydro Météo. 2024. Relevés bathymétriques. *Hydro Météo*. [En ligne] 2024. [Citation : 21 Mai 2024.] <https://hydrometeo.net/services/consultation-et-expertise/relevés-bathymetriques/>.

Ifremer. 2022. Le sondeur multifaisceaux. *Géo-océan*. [En ligne] 2022. [Citation : 2024 juin 06.] <https://www.geo-ocean.fr/Science-pour-tous/Nos-outils/Les-sondeurs/Le-sondeur-multifaisceaux>.

Kazemian et al. 2023. A review of bridge scour monitoring techniques and developments in vibration based scour monitoring for bridge foundations. *Springer Open*. [En ligne] 2023. [Citation : 21 Mai 2024.] <https://aben.springeropen.com/articles/10.1186/s43251-023-00081-6>.

Leroux, Boris. 2019. *Fusion de données LIDAR et photographiques pour le géoréférencement direct d'un lever topographique par micro-drone aérien*. 2019.

Luinge, H.J, Veltink , P.H. et Baten, C.T.M. 1999. *Estimating orientation with gyroscopes and accelerometers*. 1999.

Sites web :

Mazzari, Vanessa . 2018. Qu'est-ce que la technologie LIDAR ? *Le Blog, Génération ROBOTS*. [En ligne] 8 Août 2018. [Citation : 23 Mai 2024.] <https://www.generationrobots.com/blog/fr/qu-est-ce-que-la-technologie-lidar/>.

Mazzari, Vanessa. 2019. Etude expérimentale du LiDAR Robosense RS-LIDAR16. *Génération ROBOTS*. [En ligne] 2019. [Citation : 05 Juin 2024.] <https://www.generationrobots.com/blog/fr/etude-experimentale-du-lidar-robosense-rs-lidar16/>.

Ministère de l'agriculture et de l'alimentation. 2024. L'érosion des sols et ses impacts. *agriculture.gouv.fr*. [En ligne] 2024. [Citation : 21 Mai 2024.] <https://agriculture.gouv.fr/prevenir-lerosion-des-sols-pour-protoger-leurs-ressources-et-leur-biodiversite>.

QPS. 2024. Qimera. *QPS*. [En ligne] 2024. [Citation : 06 Juin 2024.] <https://qps.nl/qimera/>.

—. 2024. Qinsy. *QPS*. [En ligne] 2024. [Citation : 06 Juin 2024.] <https://qps.nl/qinsy/>.

Documents techniques :

R2Sonic. 2021. *SONIC 2020 Broadband multibeam echosounder*. 2021.

Robosens. 2020. *RS-Lidar-16*. 2020.

SBG Systems. 2016. *Ekinox Subsea series*. 2016.

—. 2024. Qinertia pour les géomètres. *SBG Systems*. [En ligne] 2024. [Citation : 06 Juin 2024.] <https://www.sbg-systems.com/fr/produits/qinertia-ins-gnss-logiciel-de-post-traitement/>.

Terrasolid. 2024. Managing and processing point clouds. *TerraSolid*. [En ligne] 2024. [Citation : 06 Juin 2024.] <https://terrasolid.com/products/terrascan/>.

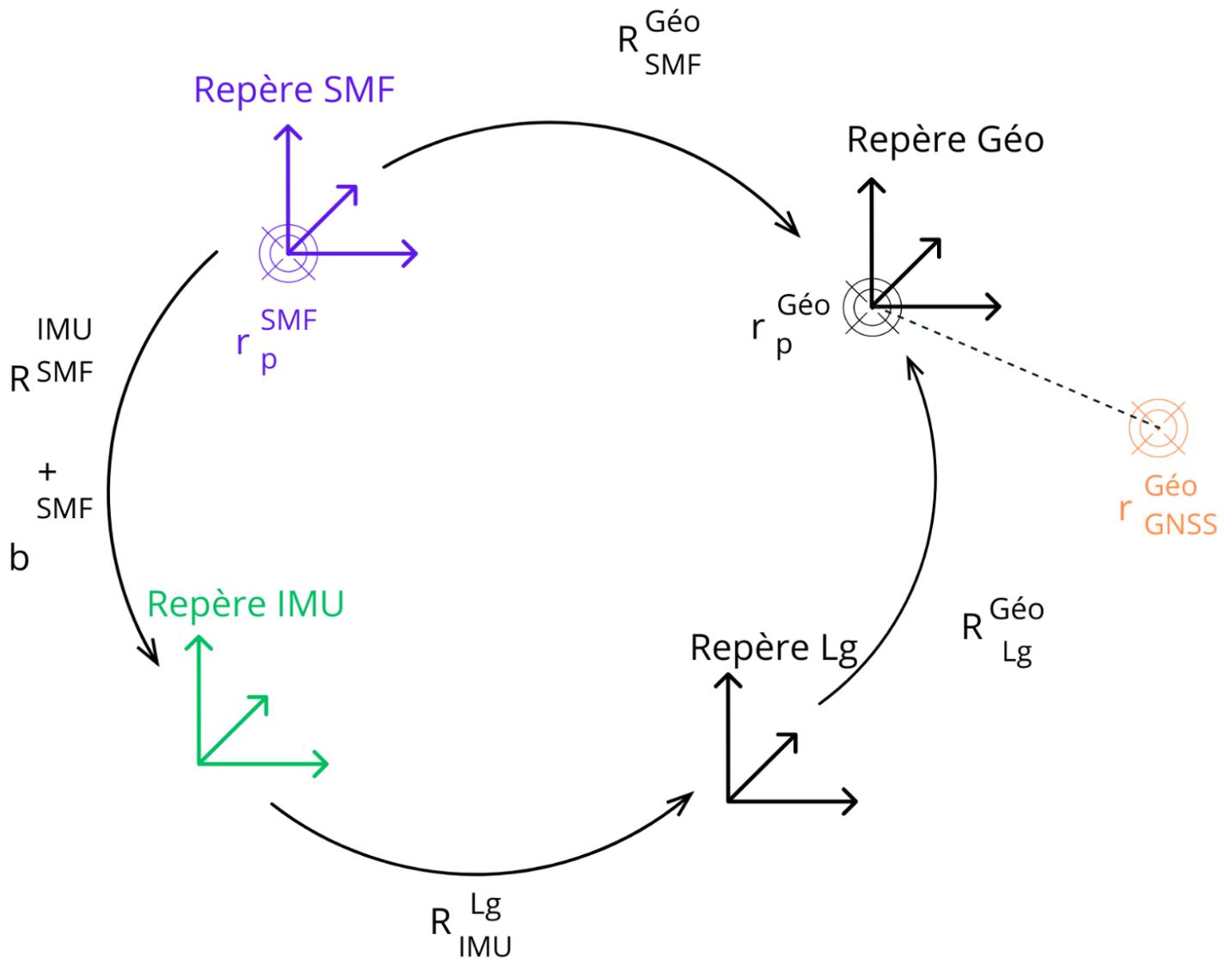
Valeport. 2022. *Mini SVS*. 2022.

Table des annexes

Annexe 1	43
Annexe 2	44
Annexe 3	45
Annexe 4	46
Annexe 5	47

Annexe 1

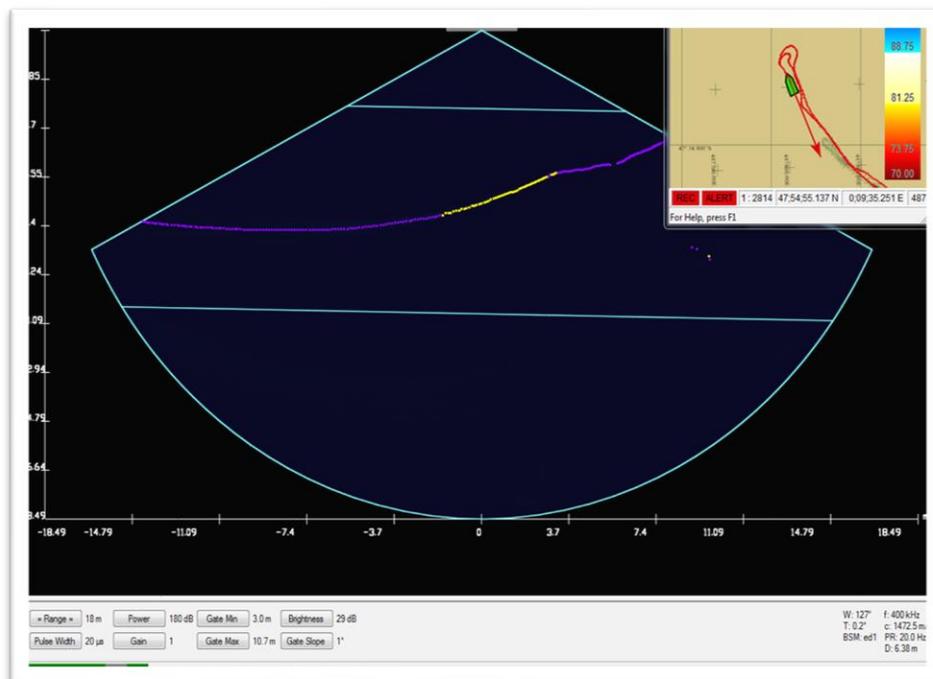
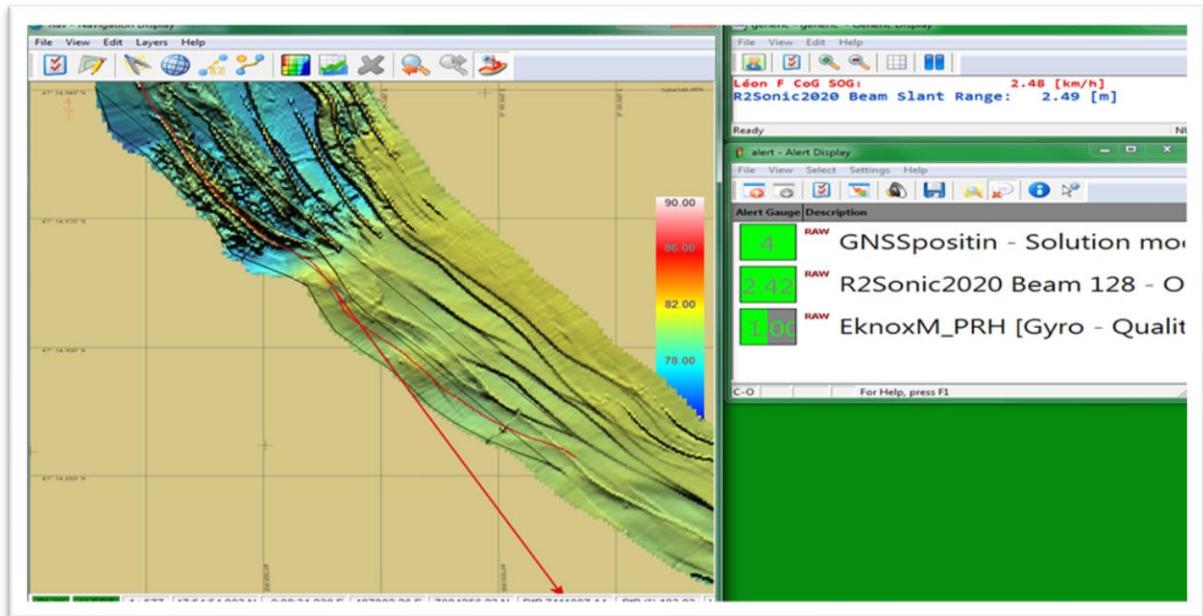
Visualisation des repères de notre système ainsi que les matrices de rotation et bras de levier



Cette représentation illustre les transformations entre plusieurs repères pour le géoréférencement. Le schéma montre la relation entre le repère SMF (violet), le repère IMU (vert), le repère Lg (noir) et le repère Géo (noir), avec les rotations et translations nécessaires pour passer de l'un à l'autre.

Annexe 2

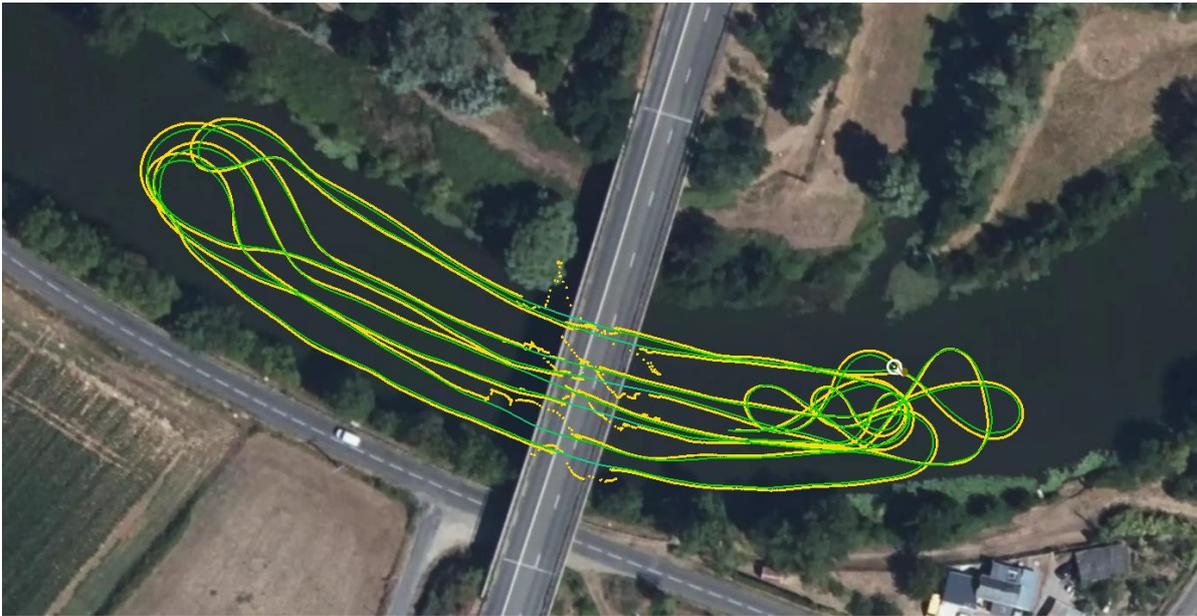
Fenêtres permettant la visualisation des informations nécessaires pour le levé sur le logiciel Qinsky et R2Sonic Control



Lors de nos levés, nous pouvons visualiser en temps réel les données collectés et la position de la vedette sur les logiciels Qinsky et R2Sonic Control.

Annexe 3

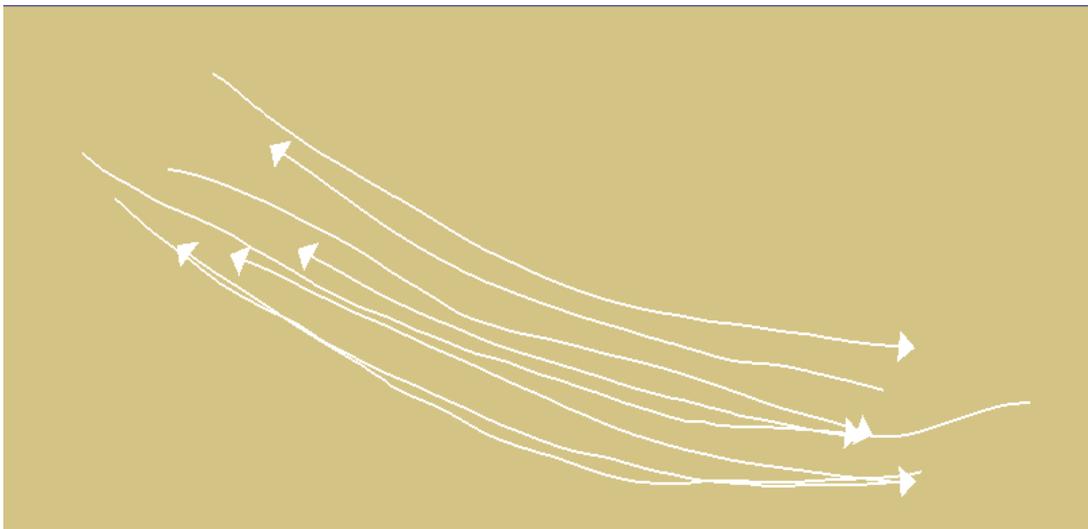
Visualisation de la trajectoire traitée sur le logiciel Qinertia puis importée sur le logiciel Qimera



Nous pouvons observer la trajectoire calculée sur le logiciel Qinertia en vert (haut) puis importée sur le logiciel Qimera (bas). Avec cette trajectoire, nous pouvons ensuite optimiser celles de nos levés.

Annexe 4

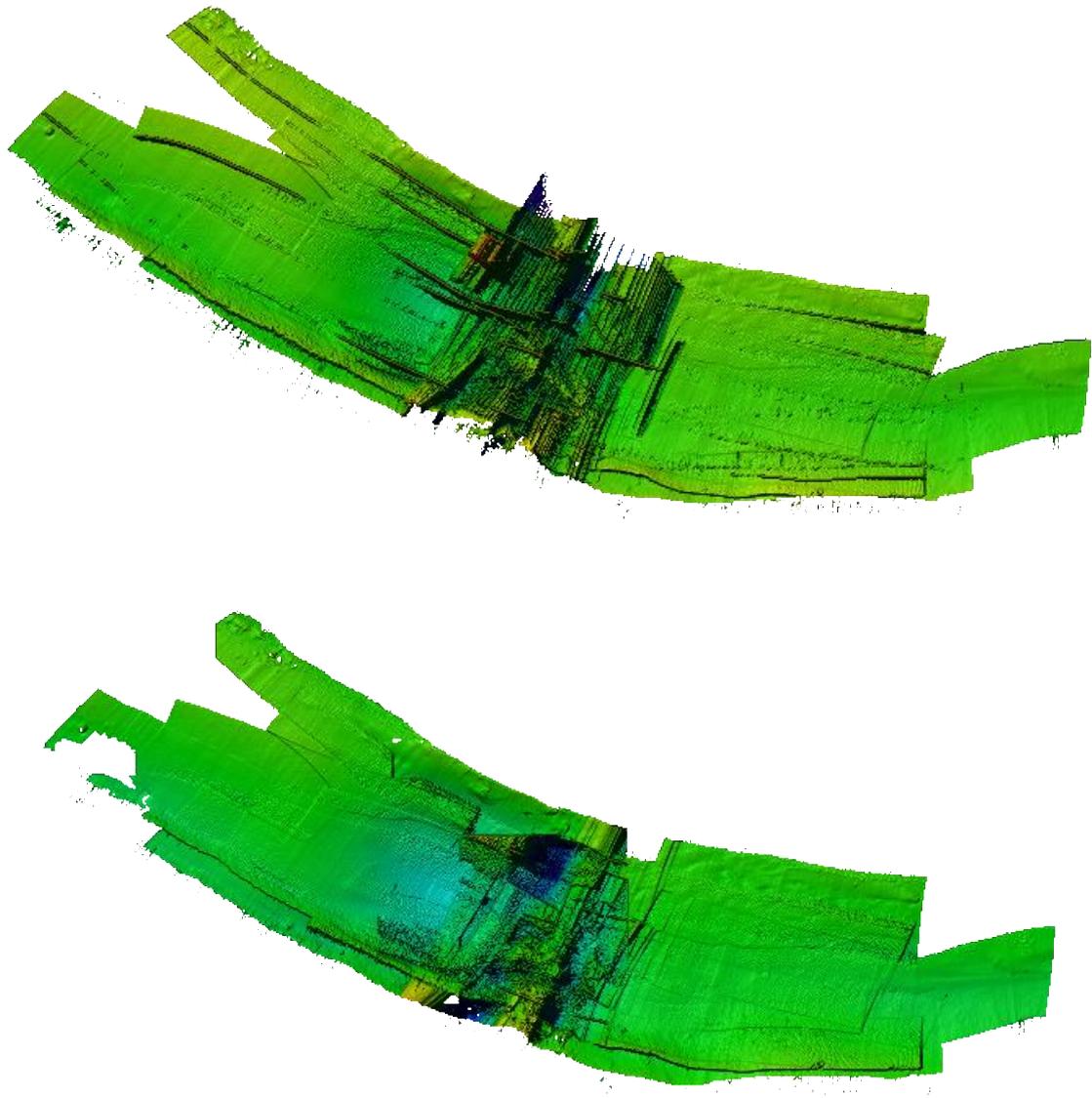
Visualisation des trajectoires avant et après traitement avec les données du logiciel Qinertia sur Qimera



Nous observons les trajectoires de nos levés sur Qimera, avant et après traitement avec la trajectoire calculée à partir du logiciel Qinertia. Nous observons donc que les données sont nettement améliorées au niveau du passage sous le pont et donc de la perte de GNSS.

Annexe 5

Modèles bathymétriques représentant les passages sous le pont avant et après traitement des données



Ci-dessus, les modèles réalisés sur le logiciel Qimera, avant et après traitement avec la trajectoire sur Qinertia. Nous voyons sur la première image un modèle brute avec la trajectoire de base. Sur la deuxième image, nous observons le modèle nettoyé et traité avec la trajectoire calculée par Qinertia. Nous observons donc bien une réelle amélioration entre le modèle brute et calculé.

Liste des figures

Figure 1 : Illustration de la méthode d'acquisition d'un sondeur multifaisceaux. (Ifremer, 2022)....	9
Figure 2 : Sondeur multifaisceaux R2Sonic (R2Sonic, 2021)	12
Figure 3 : Valeport Mini Sound Velocity Sensor (Valeport, 2022)	12
Figure 4 : SBG Ekinox-M SubSea (SBG Systems, 2016)	12
Figure 5 : Capteurs positionnés à l'avant du bateau sur une perche (Photos personnelles).....	13
Figure 6 : RS-LiDAR-16 Robosens (Robosens, 2020)	13
Figure 7 : Repère du R2Sonic 2020 (R2Sonic, 2021)	16
Figure 8 : Repère de la SBG Ekinox-M (SBG Systems, 2016)	16
Figure 9 : Repère RS-LiDAR-16 Robosens (Robosens, 2020).....	16
Figure 10 : Représentation de l'ensemble des repères présents sur la vedette Léon Foucault	17
Figure 11 : Modélisation SketchUp de la Bathymobile (Photo personnelle)	19
Figure 12 : Bathymobile en fonctionnement (Photo personnelle).....	19
Figure 13 : Schéma du montage de notre système	20
Figure 14 : Mise en place des branchements pour la connexion GNSS-LiDAR	20
Figure 15 : Représentation du réseau de notre montage comprenant les ports et adresses IP (fixes ou automatiques) de chaque appareil composant notre système ainsi que les liens créés entre les deux adressages.	22
Figure 16 : Zone d'étude sur la Sarthe (Source : Géoportail).....	27
Figure 17 : La vedette bathymétrique Léon Foucault équipée des instruments de mesure (Photo personnelle)	28
Figure 18 : Représentation des axes de roulis, tangage et lacet sur la vedette Léon Foucault	30
Figure 19 : Illustration des passages à réaliser pour l'étalonnage du sondeur multifaisceaux	31
Figure 20 : Illustration des passages à réaliser pour l'étalonnage de l'angle de roulis du LiDAR (EIVA, 2020).....	31
Figure 21 : Illustration des passages à réaliser pour l'étalonnage de l'angle de tangage du LiDAR (EIVA, 2020).....	31
Figure 22 : Illustrations des passages à réaliser pour l'étalonnage de l'angle de lacet du LiDAR (EIVA, 2020).....	32
Figure 23 : Représentation du levé bathymétrique sur la Sarthe.....	34
Figure 24 : Représentation des erreurs de la trajectoire avant et après traitement sur Qinertia	35
Figure 25 : Représentation d'un levé bathymétrique sur la Sarthe, sous un pont après traitement ..	35

Liste des tableaux

Tableau 1 : Valeurs numériques en mètres des bras de levier présents dans notre montage	17
---	----

Mise en place d'une suite instrumentale multicapteur (sondeur multifaisceaux et LiDAR) sur la vedette Léon Foucault

Mémoire d'Ingénieur C.N.A.M., Le Mans 2024

RESUME

Le laboratoire Géomatique et Foncier a fait l'acquisition en juin 2022 de la vedette Léon Foucault, qui a permis de réaliser des levés bathymétriques et terrestres grâce à l'intégration d'un sondeur multifaisceaux et d'un LiDAR. Le couplage des différents appareils sur la Bathymobile a facilité la réalisation des premiers tests et permis de résoudre les problèmes rencontrés.

Par la suite, nous nous sommes rendus sur la Sarthe afin de réaliser la collecte de données. Cependant, de nombreux problèmes ont émergé concernant le couplage du LiDAR, ceux-ci ne pouvant être résolus qu'en acquérant un nouveau LiDAR. De ce fait, nous n'avons pas pu rendre opérationnelle la suite terrestre.

Concernant la suite bathymétrique, nous avons pu effectuer des levés permettant l'obtention d'un nuage de points et d'un modèle cohérent. Toutefois, un problème d'étalonnage du sondeur multifaisceaux a été rencontré lors de nos levés dû aux caractéristiques de la zone d'étude, pouvant donc être corrigé avec une zone plus adéquate.

Mots clés : Bathymétrie, Sondeur multifaisceaux, LiDAR, multicapteur, couplage, vedette bathymétrique.

SUMMARY

In June 2022, the Geomatics and Land (France) acquired the Léon Foucault vessel, which enabled the completion of bathymetric and terrestrial surveys through the integration of a multibeam echosounder and a LiDAR system. The coupling of these devices on the Bathymobile facilitated the initial tests and helped resolve encountered issues.

Subsequently, we traveled to the Sarthe River to collect data. However, a number of problems arose regarding the coupling of the LiDAR, which could only be resolved by acquiring a new LiDAR system. As a result, we were unable to make the terrestrial suite operational.

Regarding the bathymetric suite, we were able to conduct surveys that resulted in the acquisition of a point cloud and a coherent model. However, a calibration issue with the multibeam echosounder was encountered during our surveys due to the characteristics of the study area, which could be corrected with a more suitable location.

Key words : Bathymetry, Multibeam echosounder, LiDAR, Multisensor, Coupling, Bathymetric vessel.