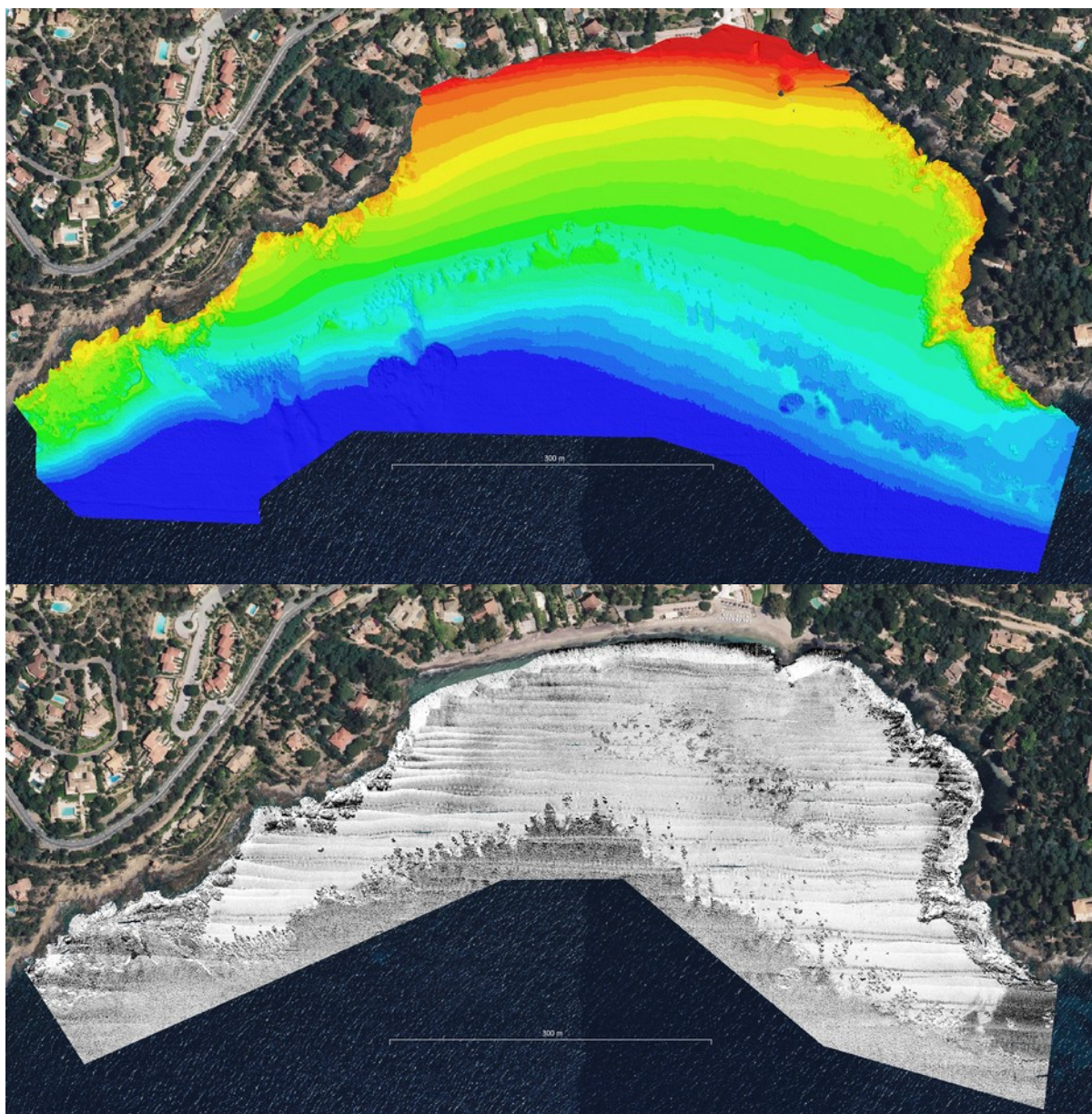


## Rapport de mission

# Mesures Géophysiques Plage du Canadel



**Destinataire :** CORINTHE  
**Référence client :** CA MARCHE du 2020-10-29  
**Rédacteur :** MARCHETTI SIMON  
**Document Ref. SEMANTIC TS :** N° R/20/111/SM du 16/11/2020  
**Référence affaire SEMANTIC TS :** 20/630 - Canadel Plage Mairie

V	Date	Référence	Évolution	Rédacteur
1	16/11/2020	R/20/111/SM	Document initial	MARCHETTI SIMON

Visa Contrôle Qualité	Visa Contrôle Administratif
Nom : BAUER ERIC Fonction : Contrôle Qualité Date : 16/11/2020 Visa :	Nom : TEMMOS Jean Marc Fonction : Directeur Date : 16/11/2020 Visa :

## SOMMAIRE

<b>I. Introduction.....</b>	<b>4</b>
I.1) Objectifs de la mission.....	4
<b>II. Descriptif des levés.....</b>	<b>5</b>
II.1) Déroulement chronologique.....	5
II.2) Relevé de l'échelle de marée.....	5
<b>III. Les équipes.....</b>	<b>5</b>
III.1) Bathymétrie.....	5
III.2) Sonar latéral / Drone.....	5
<b>IV. Les navires.....</b>	<b>6</b>
IV.1) Mini navire océanographique : MINO.....	6
IV.2) Navire océanographique : LE SEMANTIC.....	7
<b>V. Moyens et méthodologie du positionnement des porteurs.....</b>	<b>8</b>
V.1) Installation d'une base GPS de référence.....	8
<b>VI. Moyens et méthodologie d'acquisition des données bathymétriques.....</b>	<b>9</b>
VI.1) La chaîne de mesure.....	9
VI.2) Acquisition des données.....	11
VI.3) Calibration du système.....	12
<b>VII. Moyens et méthodologie d'acquisition des données sonar latéral.....</b>	<b>15</b>
VII.1) La chaîne de mesure.....	15
<b>VIII. Moyens et méthodologie d'acquisition des données topographiques par profil.....</b>	<b>16</b>
<b>IX. Moyens et méthodologie des acquisitions topographique par drone.....</b>	<b>17</b>
IX.1) Instrumentation.....	17
IX.2) Logiciels.....	18
IX.3) Principe de la méthode.....	19
IX.4) Déroulement des opérations.....	20
IX.5) Mode opératoire des traitements photogrammétriques.....	23
<b>X. Résultats.....</b>	<b>25</b>
X.1) Topographie par perche.....	25
X.2) Topographie par drone.....	26
X.3) Topo-Bathymétrie.....	26
X.4) Indice topographique.....	27
X.5) Résultats sonar.....	28
<b>XI. Fusion des données pour préparation des missions terrain.....</b>	<b>29</b>

## I. INTRODUCTION

SEMANTIC TS a déployé ses navires instrumentés dédiés à la mesure des fonds marins pour la réalisation de travaux de cartographie topo-bathymétrique multi-faisceaux et interférométrique de la Plage du Canadel. Les mesures ont été réalisées les

- 05/11/2020 : Bathymétrie
- 12/11/2020 : Sonar latéral
- 13/11/2020 : Topographie par profil
- 23/11/2020 : Topographie par drone

Ce rapport présente les travaux de levés et de traitement des données, ainsi que les cartographies obtenues.

### I.1) Objectifs de la mission

L'objectif des présents travaux était de réaliser l'acquisition de données géophysiques sur la zone suivante :



Figure 1 : Zone d'étude

Les données géophysiques issues de ces travaux ont servi de base pour la cartographie des biocénoses dont les résultats sont présentés dans un autre rapport.

## II. DESCRIPTIF DES LEVÉS

### II.1) Déroulement chronologique

Date	Heure	
05/11/2020	06:30 - 18h30	Mesures géophysiques bathymétriques
12/11/2020	06:30 - 18h30	Mesures géophysiques sonar + complément bathymétrique
13/11/2020	08:30 - 13h30	Mesures géophysiques topographie par profil
23/11/2020	08:30 - 13h30	Mesures géophysiques topographie par drone

### II.2) Relevé de l'échelle de marée

Néant. Utilisation d'un couple GPS – RTK Base-Mobile.

## III. LES ÉQUIPES

### III.1) Bathymétrie

Chef de projet :	MARCHETTI	Simon	Ingénieur océanographe
Chef de mission :	BAUER	Eric	Ingénieur océanographe
Opérateurs/pilotes :	BAUER	Eric	Ingénieur océanographe
	BESSE	Felix	Technicien océanographe
Traitement	MARCHETTI	Simon	Ingénieur océanographe

### III.2) Sonar latéral / Drone

Chef de projet :	MARCHETTI	Simon	Ingénieur océanographe
Chef de mission:	BESSE	Felix	Technicien océanographe
Opérateurs/pilotes:	COQUET	Michel	Ingénieur
	BESSE	Felix	Technicien océanographe
Traitement	MARCHETTI	Simon	Ingénieur océanographe

## IV. LES NAVIRES

### IV.1) Mini navire océanographique : MINO

Le « MINO » navire instrumenté dédié à la mesure des fonds marins a été déployé avec les instruments suivants :

- |   |   |
|---|---|
| • Sondeur multi-faisceaux R2SONIC 2020    | Bathymétrie multi-faisceaux                   |
| • Centrale d'attitude SBG APOGEE          | Positionnement et correction d'attitude       |
| • 2 D-GPS RTK Trimble centimétrique       | Positionnement et correction d'attitude       |
| • Centrale de navigation                  | Pilote automatique sur radiales pré-définies  |
| • Station d'acquisition                   | Enregistrement des données                    |
| • Réseau Internet et VPN haut débit       | Réception / transmission de données           |
| • Profileur de célérité Mini-SVS VALEPORT | Acquisition des profils verticaux de célérité |
| • Mini-SVS VALEPORT de coque              | Acquisition de la célérité en surface         |



Figure 2 : Le MINO (Mini Navire Océanographique)

**Le navire est inscrit au commerce**

Le bateau utilisé avec tous les instruments à bord est transporté sur remorque.

Le navire présente les caractéristiques suivantes :

- Masse : 150 Kg – Longueur : 4 m
- Puissance : 20 CV
- Tirant d'eau : 0,2 m
- Énergie disponible : 12 / 220 V – 400 W
- Gabarit routier sur remorque
- Réseau Internet et VPN haut débit
- Propulsion thermique ou électrique
- Puits d'instrumentation

#### IV.2) Navire océanographique : LE SEMANTIC

Le «SEMANTIC» navire instrumenté dédié à la mesure des fonds marins a été déployé sur zone avec les instruments suivants :

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Sondeur interféromètre de coque</b></li> <li>• <b>Centrale d'attitude CODA OCTOPUS</b></li> <li>• <b>2 D-GPS RTK Novatel centimétrique</b></li> <li>• <b>Centrale de navigation</b></li> <li>• <b>Station d'acquisition</b></li> <li>• <b>Réseau Internet et VPN haut débit</b></li> <li>• <b>Profileur de célérité Mini-SVS VALEPORT</b></li> <li>• <b>Mini-SVS VALEPORT de coque</b></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Sonar latéral très bien géoréférencé</b></li> <li>• <b>Positionnement et correction d'attitude</b></li> <li>• <b>Positionnement et correction d'attitude</b></li> <li>• <b>Pilote automatique sur radiales pré-définies</b></li> <li>• <b>Enregistrement des données</b></li> <li>• <b>Réception / transmission de données</b></li> <li>• <b>Acquisition des profils verticaux de célérité</b></li> <li>• <b>Acquisition de la célérité en surface</b></li> </ul> |
|---|---|

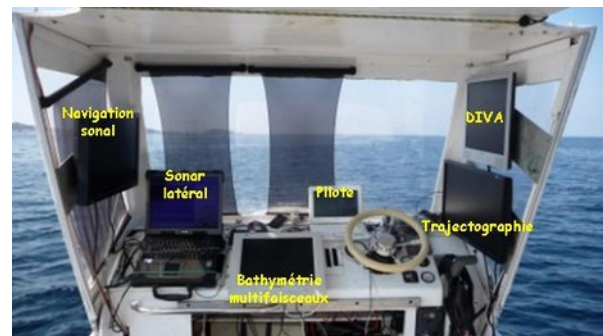


Figure 3 : Le SEMANTIC (Navire Océanographique)

Le bateau utilisé avec tous les instruments à bord est transporté sur remorque

Le navire présente les caractéristiques suivantes :

- Masse : 1 tonne - Longueur : 6.5 m
- Puissance : 135 CV
- Tirant d'eau : 0,3 m
- Énergie disponible : 12 / 220 V - 1000 W
- Gabarit routier sur remorque
- Rack à bouteilles de plongée
- Réseau Internet et VPN haut débit
- Puits d'instrumentation



Cabine du navire SEMANTIC

Stations de pilotage et d'acquisition multi-capturs

## V. MOYENS ET MÉTHODOLOGIE DU POSITIONNEMENT DES PORTEURS

### V.1) Installation d'une base GPS de référence

Une base de référence est installée sur le bord de la route au nord de la plage à l'aplomb d'un clou d'arpentage. Elle sert de point pivot après son rattachement au réseau de l'IGN afin de garantir des mesures avec une précision centimétrique.



Figure 4 : Clou d'arpentage / Base de référence GPS RTK

Le rattachement au réseau IGN donne la référence du clou à :

Calcul géodésique	
Date	05/11/2020
Durée d'implantation	2H31min25s
Matériel	Leica 1230 GNSS+
Résultats du calcul de la position de la station de référence	
Latitude (RGF93 DMS)	43°09'27.85760"
Longitude RGF93 DMS)	6°27'51.11727"
Htr ellipsoïdale (RGF93 - M)	54.269
E (L93 M)	981866.663
N (L93 M)	6234905.706
Z (IGN69 M)	6.094

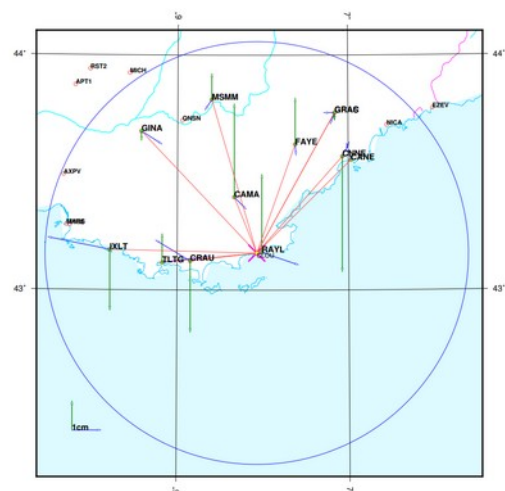


Figure 5 : Coordonnées - Clou d'arpentage



## VI. MOYENS ET MÉTHODOLOGIE D'ACQUISITION DES DONNÉES BATHYMÉTRIQUES

### VI.1) La chaîne de mesure

#### VI.1.a) Positionnement et Centrale Inertielle

Un sondeur multi-faisceaux étant un instrument de coque, l'attitude du bateau doit être connue avec une précision importante, c'est pourquoi SEMANTIC TS met en œuvre une **centrale inertielle haut de gamme**.

L'APOGÉE-U de SBG est une centrale inertielle de navigation, elle fusionne la mesure de position, de cap GNSS, d'attitude et de pilonnement dans un filtre de Kalman interne et calcule à haute cadence une mesure de position, disponible même en cas de masquage des signaux GNSS.

C'est une solution légère (2.1 kg/air – 0.95 kg/eau), compacte robuste étanche à l'immersion, très peu consommatrice d'énergie (3 W) parfaitement adaptée aux systèmes de levé bathymétrique multi-faisceaux haute résolution.

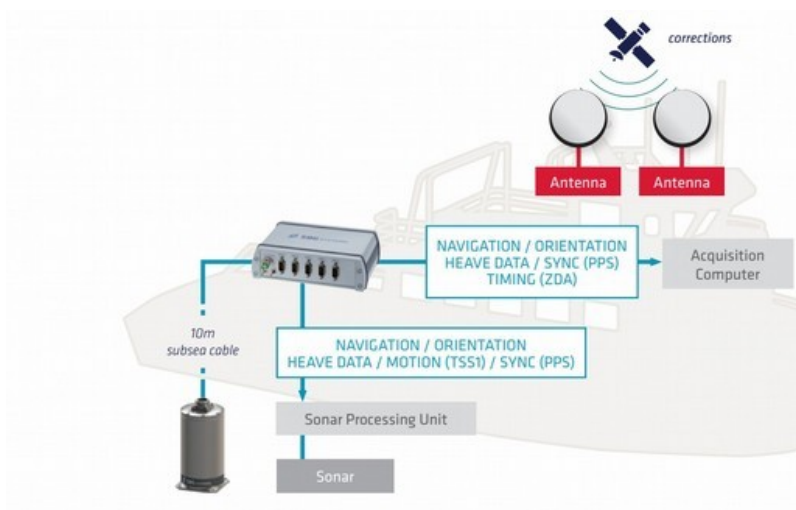


Figure 6 : Mesure de l'inertie et du positionnement du navire – Centrale inertielle SBG Apogée U et Split Box TRIMBLE

#### VI.1.b) Mesures acoustiques

Le sondeur R2SONIC 2020 est un sondeur multi-faisceaux nouvelle génération.

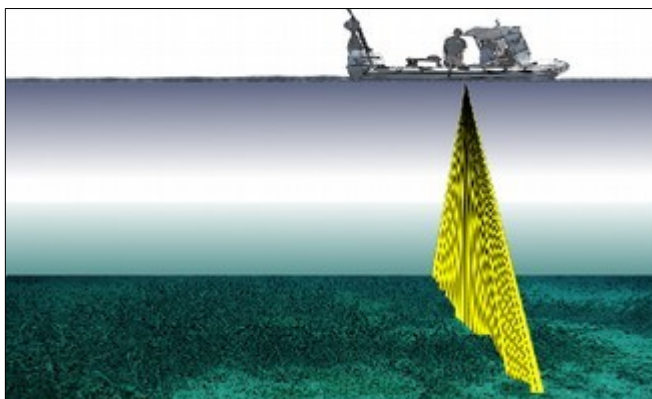


Figure 7 :  
à gauche : Principe d'acquisition d'un sondeur multi-faisceaux  
à droite : R2SONIC 2020, sondeur multi-faisceaux ultra compact

Le R2SONIC 2020, sondeur multi-faisceaux de 5<sup>e</sup> génération, permet d'obtenir des données à haute résolution. Couplé avec une centrale d'attitude très performante (centrale inertielle asservie par des D-GPS RTK), cette architecture offre une qualité de mesure exceptionnelle dans les gammes de profondeurs de ce projet.

Le navire support développé autour de ce sondeur permet une inclinaison de l'ensemble centrale inertielle et sondeur par un système ingénieux.

### VI.1.c) Mesures d'environnement

Outre un célérimètre couplé au R2SONIC 2020 permettant de connaître la célérité au niveau de la céramique pour le bon calcul de ces formations de voie il est nécessaire d'utiliser un profileur de célérité sur la colonne d'eau.

En effet, les variations de température et de salinité influent fortement sur la vitesse et le trajet de la propagation des ondes acoustiques en milieu sous marin. La connaissance de la célérité en fonction de la profondeur en différents points de la zone à cartographier est importante dans le but de ne pas dégrader la qualité et la précision des mesures. Les profils verticaux de célérité sont mesurés à l'aide d'un profileur Mini SVS VALEPORT P.



Figure 8 : Mini SVS VALEPORT P



Figure 9 : Profil de célérité à fort gradient

### VI.1.d) Chaîne de mesures et précision des levés

Le schéma suivant illustre le principe de la chaîne de mesure et la mise en œuvre des composants d'un levé bathymétrique multi-faisceaux :

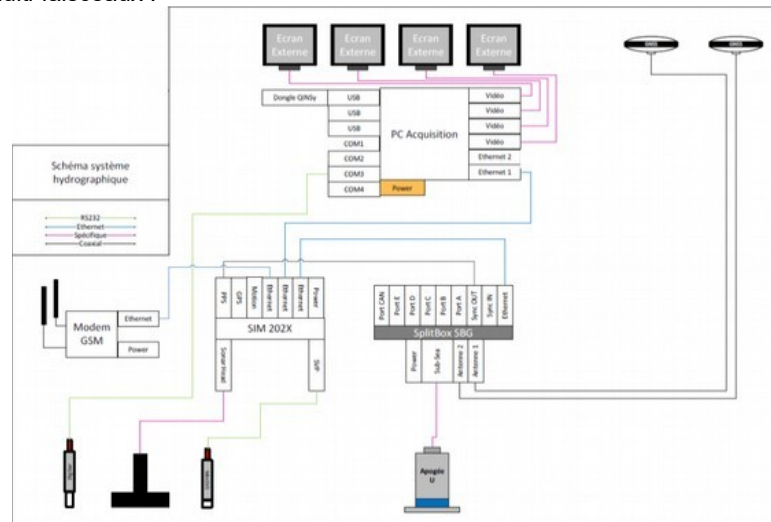


Figure 10 : Chaîne de mesures

L'utilisation des instruments proposés et dont les offsets sont totalement maîtrisés conduit à un positionnement des sondes avec une couverture exhaustive des zones avec une précision de :

Bilan d'erreur	MAX THU	MAX TVU
Base GPS (voir PT_GPS.pdf)	0 cm	0 cm
Position RTK du porteur (voir PT_GPS.pdf)	2 cm	4 cm
Mesure des offset	1 cm	1 cm
Sondeurs bathymétrique	0 cm	1,25 cm
Transformation Altitude → Cote Marine	0 cm	0 cm
Bilan de chaîne	3 cm	6.25 cm

## VI.2) Acquisition des données

QINSy (**Q**uality **I**ntegrated **N**avigation **S**ystem) est un progiciel d'acquisition, de navigation et de traitement de données hydrographiques. La suite d'applications peut être utilisée pour différents types de mesures, allant de simples relevés à des travaux complexes de construction et d'ingénierie offshore. Pour ce projet, QINSy est paramétré pour :

- ✓ Enregistrer et stocker les données de navigation, de bathymétrie et de laser scanner
- ✓ Contrôler en temps réel la qualité du positionnement.

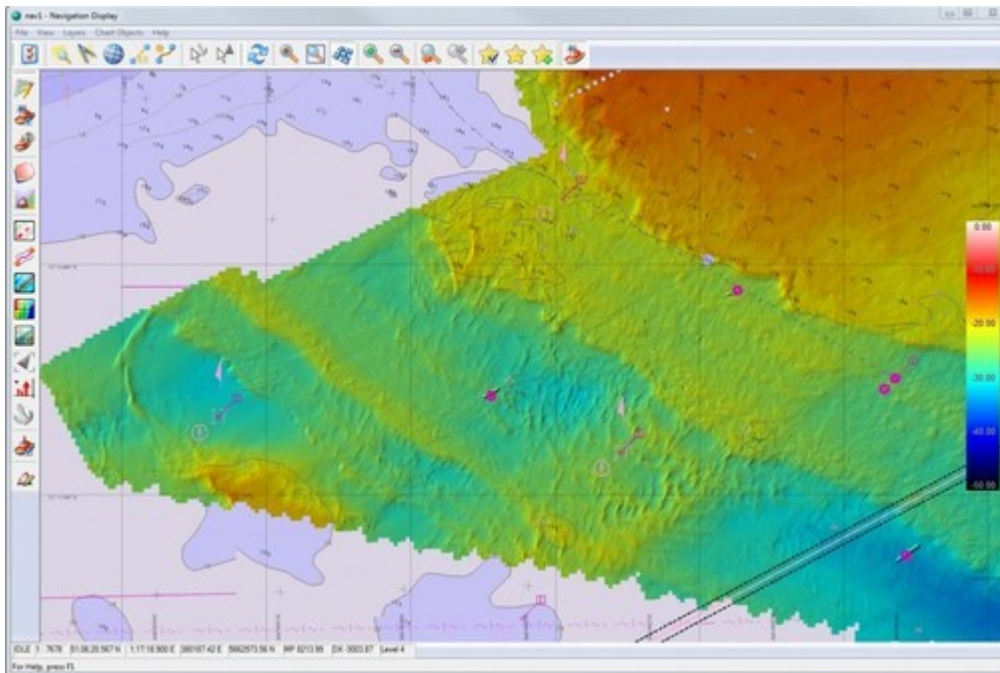


Figure 11 : Bathymétrie temps réel avec QINSy

Lors de cette mission SEMANTIC TS a réalisé :

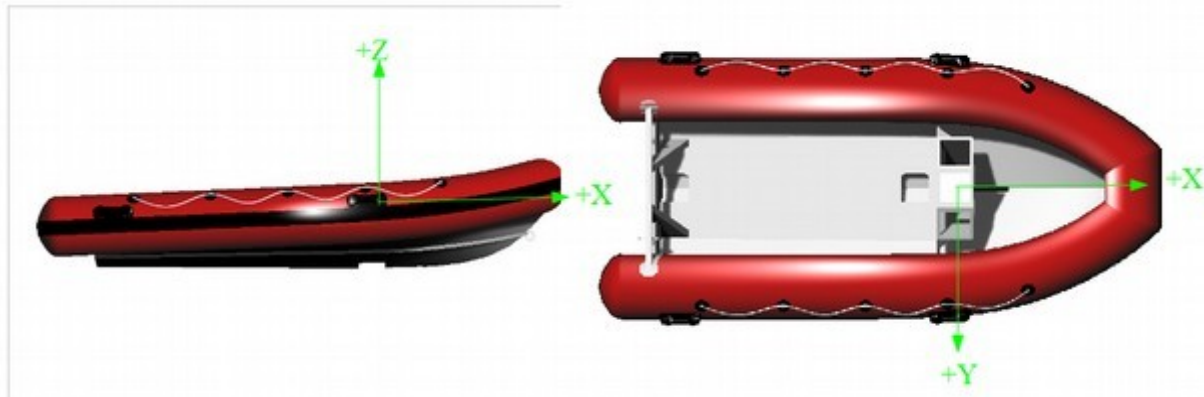
- 131 lignes de mesures bathymétriques et sonar
- 6 passes de calibration
- Vitesse moyenne de levé : ~ 2 m/s
- 2 profils bathy-célérimétrique



Figure 12 :Exemple de profil de bathy-célérimétrie

### VI.3) Calibration du système

Montage de l'ensemble inertiel/acoustique sur une pièce mécanique placée dans un puits d'instrumentation du navire.



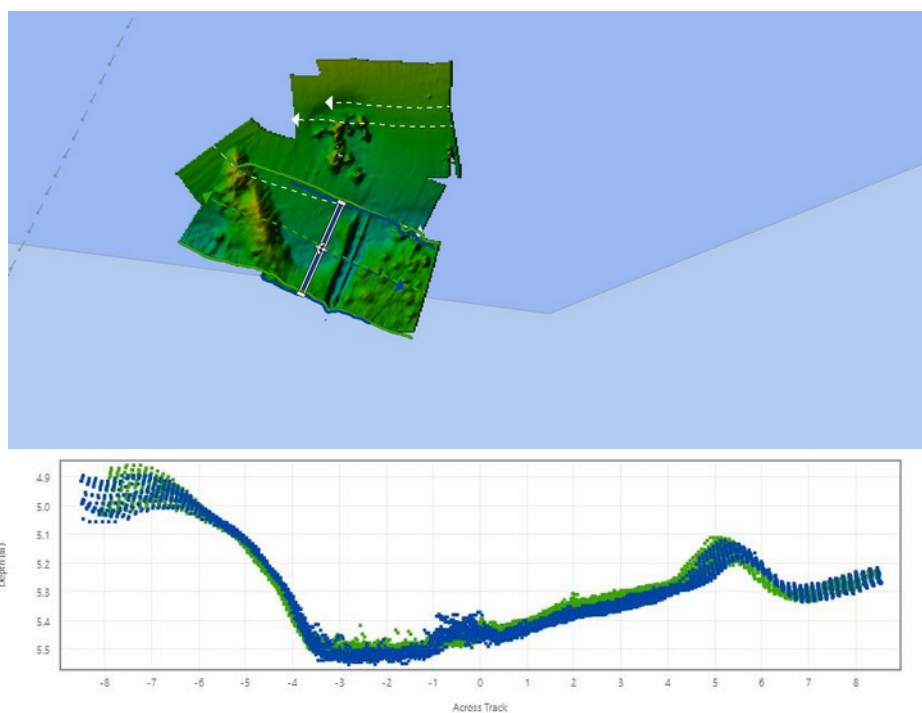
**Figure 13 : Convention des axes du navire pour les explications**

Les offsets d'installation en translation sont parfaitement connus. Les offsets d'installation en rotation, connus pour être proches de 0 à la conception du système, sont déterminés sur zone par un protocole de calibration.

La calibration, le traitement des sondes etc. sont effectués sous le logiciel QIMERA

#### VI.3.a) Offset de roulis

Cet offset concerne le désalignement constant entre la centrale et le sondeur selon une rotation autour de l'axe X. Pour lever cet offset, les passes de calibration consistent à effectuer un aller-retour en sens contraire sur fond plat et minimiser l'erreur d'alignement du fond dans le sens perpendiculaire à l'avancement du navire.



**Figure 14 : Rapport calibration de l'offset de roulis**

### VI.3.b) Offset de tangage

Cet offset concerne le désalignement constant entre la centrale et le sondeur selon une rotation autour de l'axe Y. Pour lever cet offset, les passes de calibration consistent à effectuer un aller-retour en sens contraire sur un fond qui remonte régulièrement et minimiser l'erreur d'alignement du fond à l'aplomb du navire.

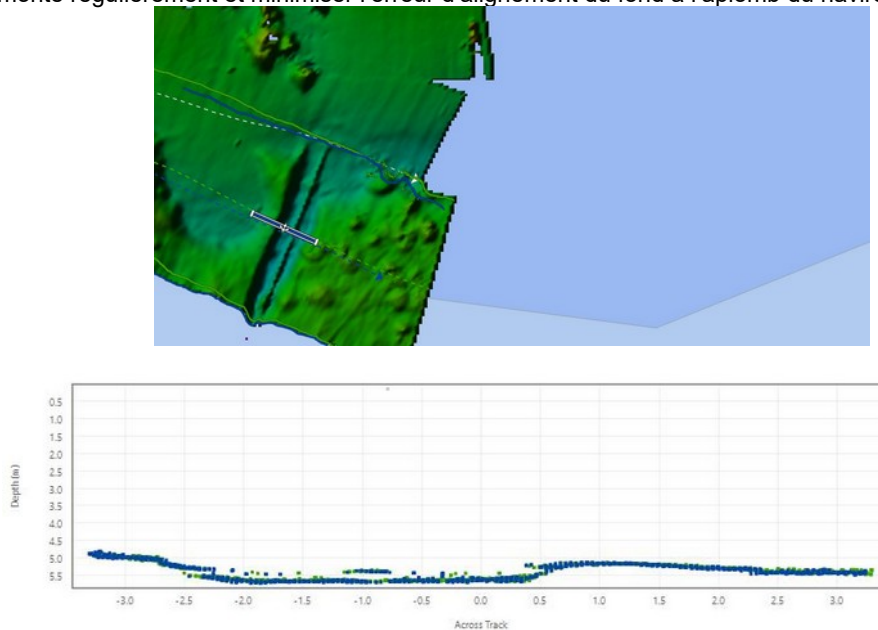


Figure 15 : Rapport calibration de l'offset de tangage

### VI.3.c) Offset de cap

Cet offset concerne le désalignement constant entre la centrale et le sondeur selon une rotation autour de l'axe Z. Pour lever cet offset, les passes de calibration consistent à effectuer un aller-retour dans le même sens sur une structure irrégulière et minimiser l'erreur d'alignement du fond entre les deux passages du navire.

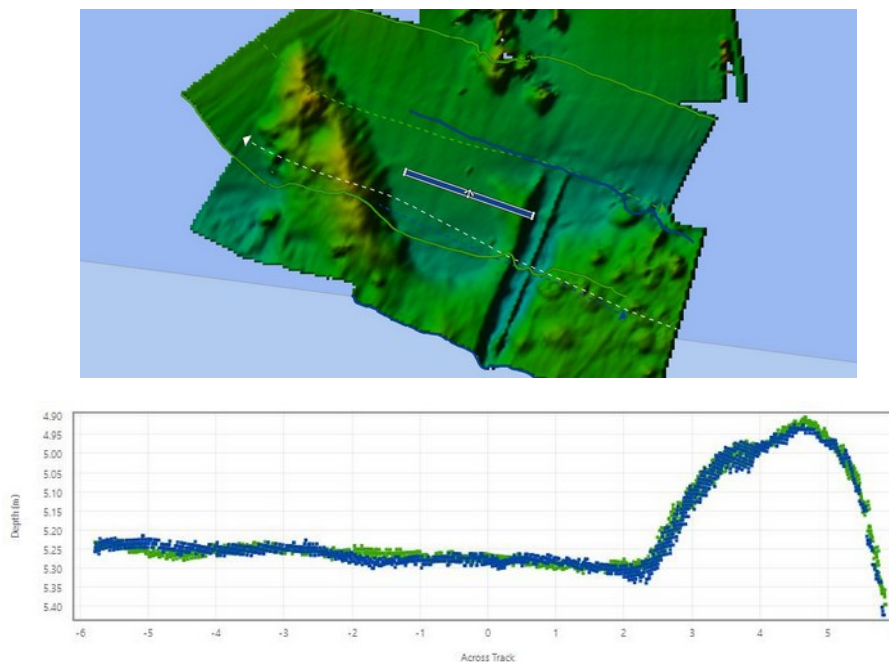


Figure 16 : Rapport calibration de l'offset de cap

### VI.3.d) Offset d'installation en position centrale – Sondeur SMF

Tx Transducer Offsets:

	Pitch (°)	Roll (°)	Heading (°)	Starboard (m)	Forward (m)	Up (m)
2020-11-05 09:05:27	0.352	0.331	0.003	-0.027	-0.005	-0.205

◀

Rx Transducer Offsets:

	Pitch (°)	Roll (°)	Heading (°)	Starboard (m)	Forward (m)	Up (m)
2020-11-05 09:05:27	0.352	0.331	0.003	-0.027	-0.005	-0.205

### VI.3.e) Offset d'installation en position centrale – Antenne GPS

Antenna Offsets:

	Latency (s)	Starboard (m)	Forward (m)	Up (m)
2020-11-05 09:05:27	0.000	-0.415	-0.157	1.541

## VII. MOYENS ET MÉTHODOLOGIE D'ACQUISITION DES DONNÉES SONAR LATÉRAL

### VII.1) La chaîne de mesure

#### VII.1.a) Positionnement et Centrale Inertielle

Pour le positionnement de son navire SEMANTIC TS met en œuvre une centrale d'attitude CODA OCTOPUS FS185+ couplant un module GNSS RTK double antennes et une centrale inertielle. L'attitude est obtenue par fusion des données entre la centrale inertielle et ses doubles antennes GPS RTK. Le système est relié par GSM en temps réel avec la base GNSS à terre, assurant un positionnement en temps réel centimétrique (RTK).

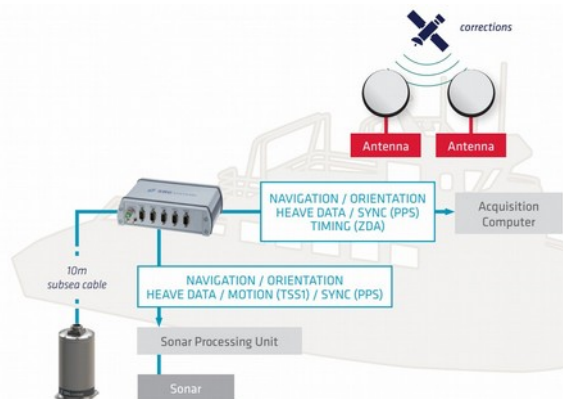


Figure 17 : Mesure de la position et de l'inertie du navire

#### VII.1.b) Mesures acoustiques

Le sonar latéral réalise, à l'aide d'ondes sonores, des images acoustiques détaillées de la réflectivité des fonds marins. Ces images sont obtenues en balayant un faisceau sonore étroit, en incidence rasante sur le fond. L'écho recueilli au cours du temps est une représentation de la réflectivité du fond et surtout de la présence d'irrégularités ou de petits obstacles. Ce signal enregistré latéralement à la direction d'avancée du sonar (d'où son nom : side scan sonar) constitue ligne après ligne une image acoustique du fond.

Pour que les images soient de bonne qualité, l'incidence des ondes sonores doit être très rasante, le poisson doit donc être positionné à une altitude proche du fond (typiquement 10 m - 15 m). Pour les fonds inférieurs à 15 m, comme c'est le cas dans le secteur d'étude, le poisson peut être installé sous la coque du navire. Les données acoustiques mesurées latéralement sont géo-référencées au moment de l'acquisition. Les profils acquis peuvent être ajoutés les uns aux autres, par superposition ou par fusion, afin de constituer l'image acoustique appelée « mosaïque sonar ». Elle représente la valeur de la réflectivité du fond en niveaux de gris.

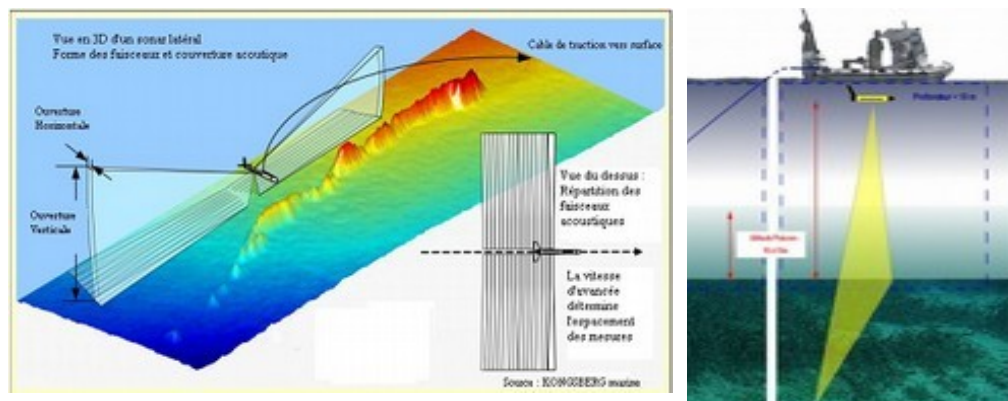


Figure 18 : Principe de la mesure par sonar latéral - Schéma de principe simplifié de l'acquisition sonar latéral.

## VIII. MOYENS ET MÉTHODOLOGIE D'ACQUISITION DES DONNÉES TOPOGRAPHIQUES PAR PROFIL

Les levés sont effectués par un opérateur topographe :

- ✓ **Profil de plages** : les profils commencent du haut de la plage et se terminent lorsque l'opérateur ne peut plus avancer dans l'eau (environ à la taille).



Figure 19 : Exemple d'acquisition par profil

L'objectif est d'obtenir une continuité des mesures entre la topographie et la bathymétrie.

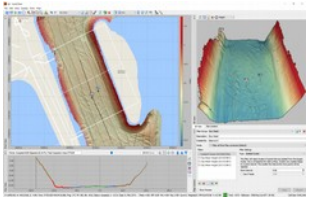


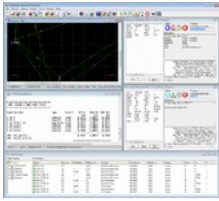


## IX. MOYENS ET MÉTHODOLOGIE DES ACQUISITIONS TOPOGRAPHIQUE PAR DRONE

### IX.1) Instrumentation

<b>1230+GNSS AS10</b>	LEICA	DGNSS RTK multi constellation	
<b>1200</b>	LEICA 1	DGPS RTK	
<b>SIROCCO</b>	Drone Aérien pour la photogrammétrie Phantom 4 RTK	Prise de vue aérienne Photogrammétrie Positionnement RTK / PPK	
<b>LIBECCIU</b>	Drone Aérien pour la photogrammétrie Phantom 4 RTK	Prise de vue aérienne Photogrammétrie Positionnement RTK / PPK	
<b>GPCs</b>	Points de contrôle géotaggués	Détection automatique de cibles géotagguées	

**IX.2) Logiciels**

<b>AUTOCLEAN</b>	BEAMWORX		Traitement de nuage de point
<b>METASHAPE</b>	AGISOFT		Traitement photogrammétrique
<b>GRAFNET</b>	NOVATEL		Post-traitement de base et réseaux GNSS
<b>GRAFNAV</b>	NOVATEL		Post-traitement de mobile GNSS

### IX.3) Principe de la méthode

La photogrammétrie est une technique qui consiste à effectuer des mesures dimensionnelles dans les trois directions de l'espace, en utilisant la parallaxe obtenue entre des images acquises selon des points de vue différents.

Le temps de traitement des données est directement fonction du nombre de clichés constituant la mesure. La durée du traitement dépend donc directement du nombre de clichés (taille de la zone) ainsi que des paramètres de résolutions/précisions attendus. Si une bathymétrie a eu lieu dans le cadre du même projet, les données issues de la photogrammétrie sont fusionnées avec les données bathymétriques multi-faisceaux au sein d'un unique modèle de terrain topo-bathymétrique.

Le modèle numérique de terrain est établi en fusionnant les données de la photogrammétrie aérienne et celle de la bathymétrie.

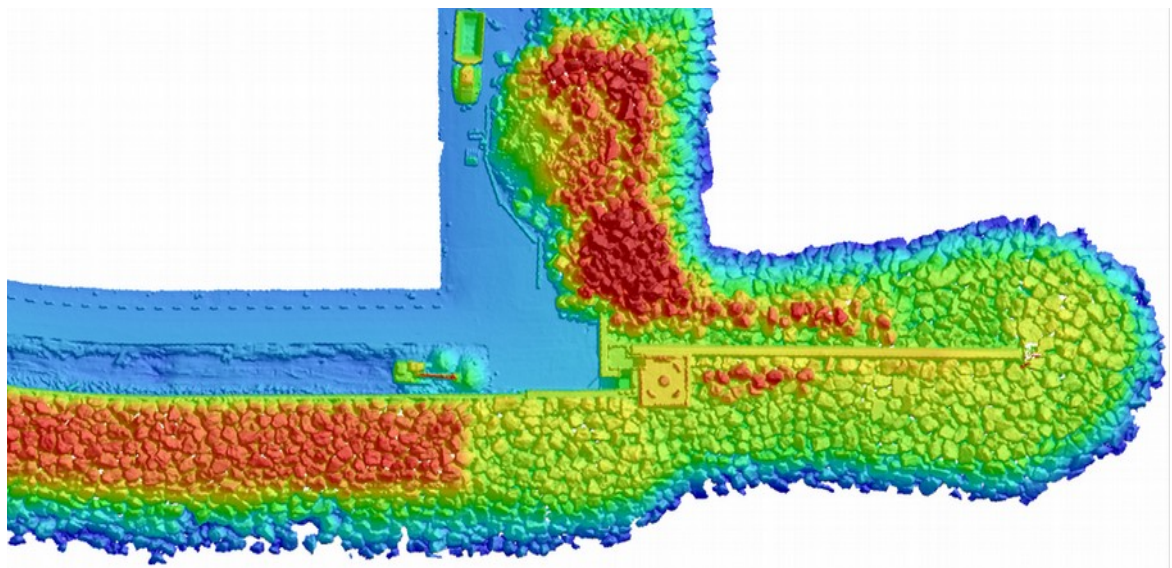
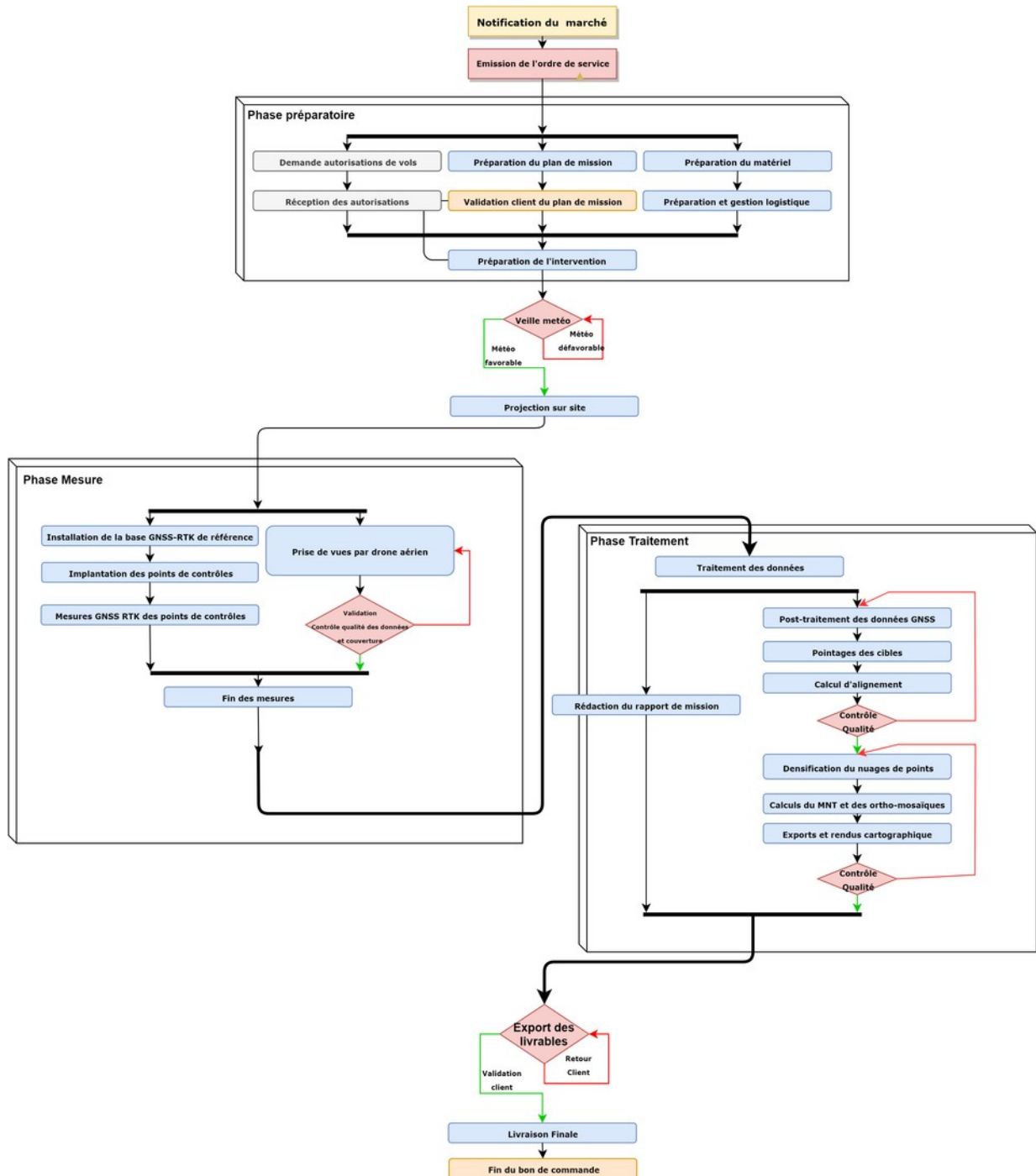


Figure 20 :Principe de la photogrammétrie

## IX.4) Déroulement des opérations

### IX.4.a) Synoptique acquisition Photogrammétrique



#### IX.4.b) Installation d'une antenne GNSS RTK

Lors de l'arrivée de l'équipe de SEMANTIC TS sur le lieu des travaux, elle installe une station DGNSS RTK fixe. Celle-ci enregistre les observations brutes des GPS et transmet les corrections au système mobile réalisant les points de contrôles au sol.



Figure 21 : Base GPS RTK fixe Leica 1230

Cette station permet de créer un point de référence de précision centimétrique en calculant sa position à partir du réseau RGP de l'IGN. SEMANTIC TS utilisera les stations les plus proches afin d'effectuer le rattachement de ce point au réseau IGN (WGS84 et Lambert 93 – NGF IGN 69).

#### IX.4.c) Marquage au sol de la zone ou installation des points de contrôle GPC

La zone de levé est alors marquée au moyen de croix ou par le biais d'installation de cibles géotaguées. Les cibles sont disposées de manière uniforme sur la zone afin de minimiser les erreurs de reprojection du modèle dans le monde réel.

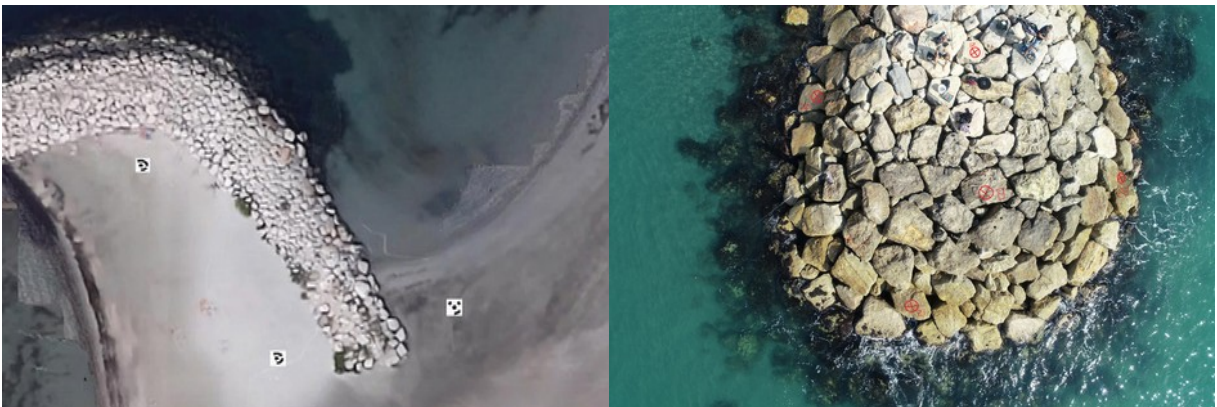


Figure 22 : Cible géotaguées et marquage de cibles

#### IX.4.d) Arpentage de la zone

Les coordonnées des cibles en X/Y/Z sont levées au moyen d'un DGNSS RTK mobile. Ce levé permet de projeter le modèle tridimensionnel dans le monde réel géographique (orientation, facteur d'échelle...).



Figure 23 : Levé topographique de cibles géotaguées et cibles

#### IX.4.e) Réalisation des prises de vue pour la photogrammétrie

Les plans de vols pour la réalisation de modèles photogrammétrique sont réalisés selon l'état de l'art, c'est-à-dire selon un protocole de prises de vues croisées orthogonales. L'altitude des vols dépend de la résolution et de la précision recherchées pour le projet mais aussi des contraintes de site (obstacles : mats, pilonne, falaises. Réglementation : vol interdit à plus d'une certaine altitude. Les vols sont en général effectués entre 20 m et 40 m au-dessus du sol.

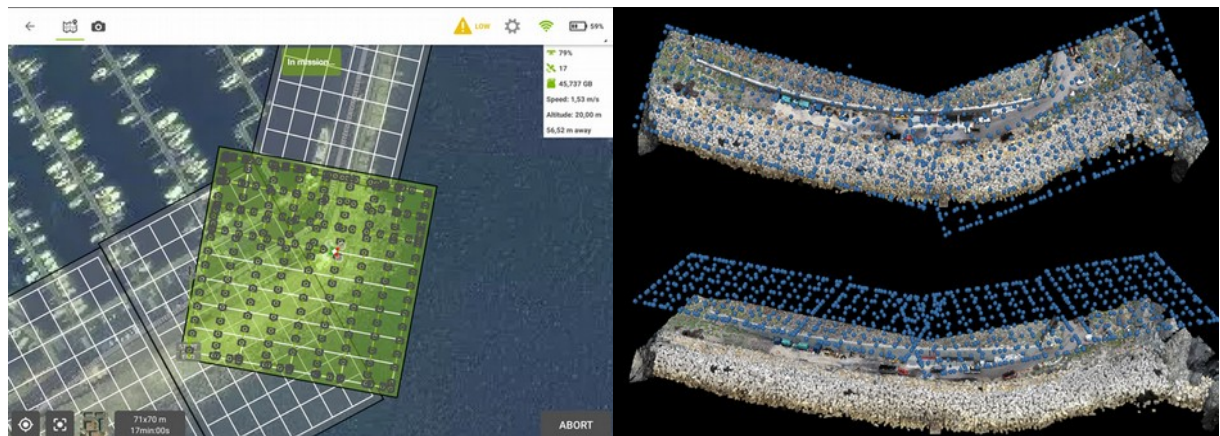


Figure 24 : Exemples de plans de vol pour levé photogrammétrique de digue

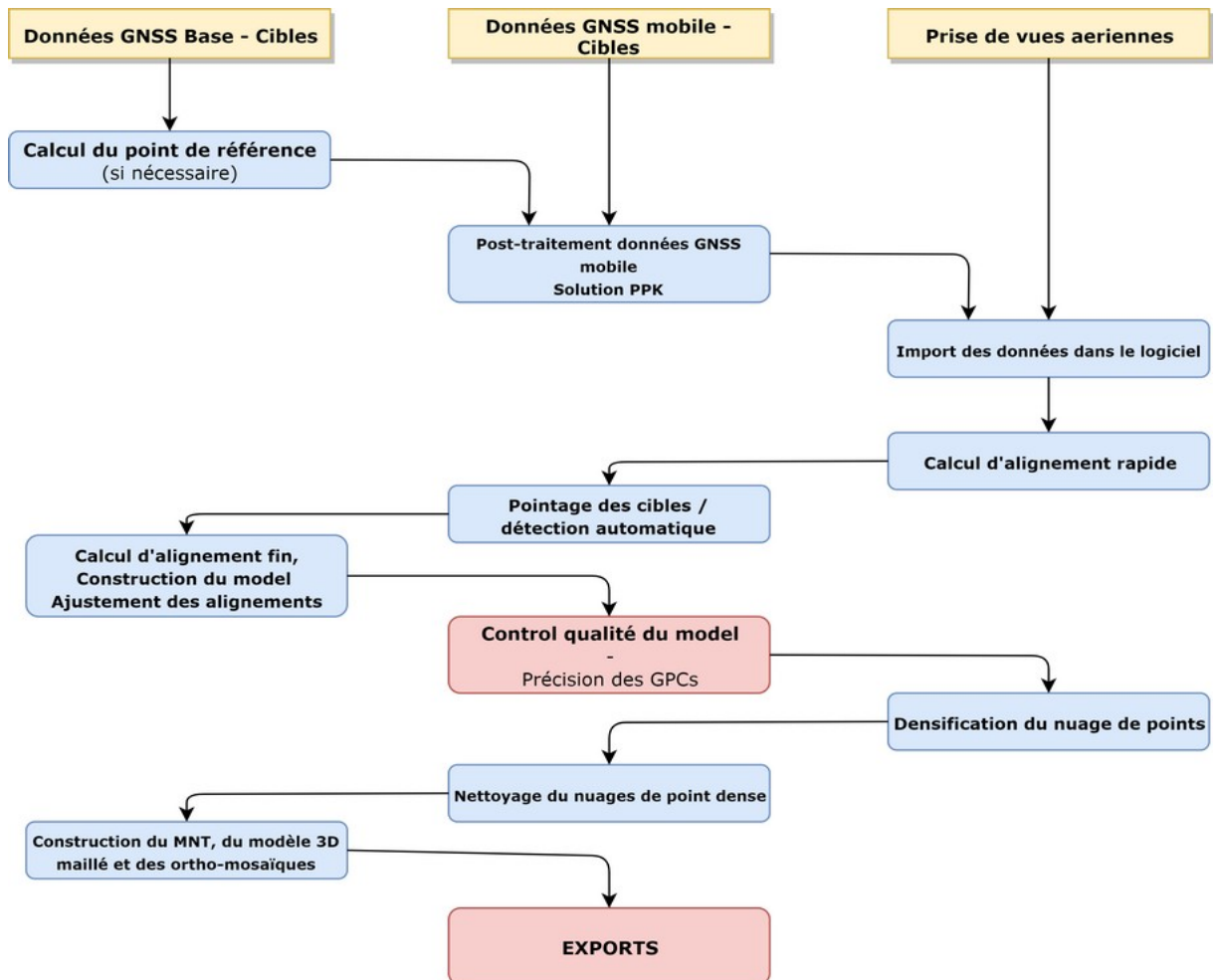
Lors du vol l'opérateur effectue un contrôle temps réel des prises de vues et de la mise en sécurité des personnes et des biens sur les zones survolées.



Figure 25 : Contrôle du drone

## IX.5) Mode opératoire des traitements photogrammétriques

### IX.5.a) Synoptique traitement bathymétrique



### IX.5.b) Alignement des photos



Figure 26 : Alignement des prises de vue

### IX.5.c) Géoréférencement et ajustement du modèle

#### Pointage des cibles

Les cibles (GPCs) sont pointées de manière semi-manuelle ou avec détection automatique (pour les géotaguées) dans chaque prise de vue.

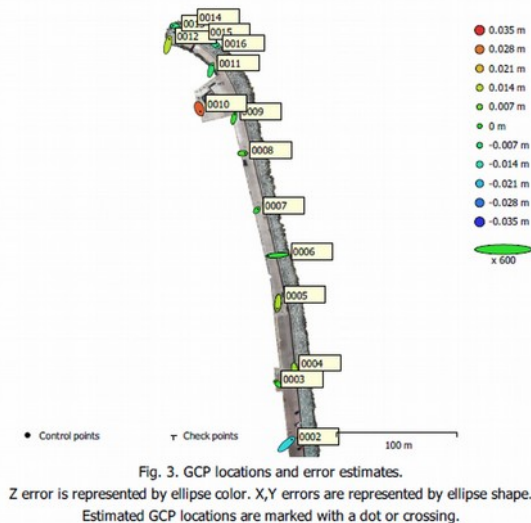


Figure 27 : Pointage des cibles

#### Estimation et contrôle des erreurs

Un calcul d'alignement fin des caméras est lancé après le pointage des cibles. A l'issue de celui-ci et d'un ajustement du modèle on peut estimer la précision du modèle aux jonctions avec les points de contrôles.

#### Ground Control Points



Count	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total (m)
15	0.00913146	0.0101564	0.0113343	0.0136578	0.0177483

Table 3. Control points RMSE.  
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)	Image (pix)
0002	0.0148032	0.0130813	-0.0180835	0.0267818	0.608 (21)
0003	-0.00478713	0.00481689	0.000825142	0.00684105	0.621 (17)
0004	0.00170662	-0.0114388	0.0110122	0.0159696	0.586 (35)
0005	-0.00170491	-0.0154971	0.0122556	0.0198309	0.497 (19)
0006	-0.0253692	-0.00217131	-0.000721021	0.0254721	0.576 (32)
0007	0.00321393	0.0033703	-0.00138025	0.0048573	0.369 (26)
0008	0.0064011	0.000129731	0.00403906	0.00757	0.520 (27)
0009	0.00287659	0.0106615	0.000785324	0.0110706	0.578 (42)
0010	0.00278912	-0.00771139	0.0303469	0.0314353	0.912 (30)
0011	0.00361256	0.0130327	-0.00620843	0.0148811	0.548 (48)
0012	0.00415189	0.0161152	0.0136746	0.0215391	0.622 (31)
0013	-0.00490936	0.000245876	-0.00698399	0.0085404	0.533 (33)
0014	-0.00236135	-0.0139145	0.00268854	0.0143672	0.557 (27)
0015	-0.00953554	-0.00851126	-0.00213506	0.0129586	0.526 (32)
0016	0.0118759	-0.00985209	-0.0100725	0.018427	0.572 (35)
<b>Total</b>	<b>0.00913146</b>	<b>0.0101564</b>	<b>0.0113343</b>	<b>0.0177483</b>	<b>0.585</b>

Table 4. Control points.  
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Figure 28 : Estimation des erreurs au niveau du modèle



## X. RÉSULTATS

### X.1) Topographie par perche

L'opérateur a réalisé 48 profils sur les 400 m de plage soit environ un profil tous les 10 m. Les particularités (creux d'arrivée des eaux pluviales, rocher d'ancrage de l'ancien ponton) ont été levées avec précaution.



Figure 29 : Réalisation de 48 profils en travers

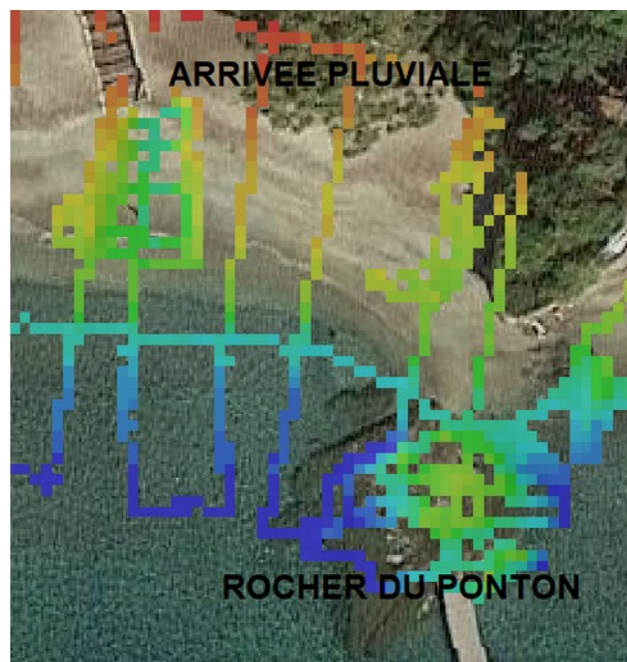


Figure 30 : Zone d'intérêt renforcé

Les données sont ensuite interpolées pour produire un modèle numérique de terrain topographique avec la même maille que la bathymétrie à savoir 25 cm \*25cm.

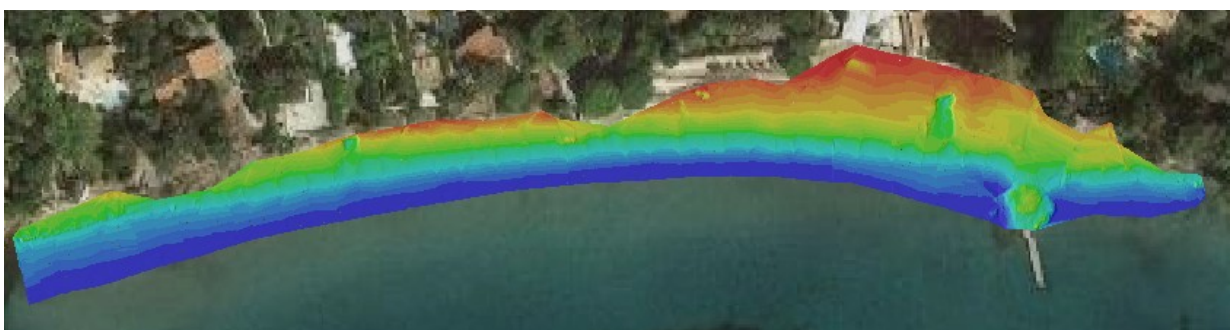


Figure 31 : Modèle numérique de terrain topographique

## X.2) Topographie par drone

Après calcul photogrammétrique, il est possible de générer un modèle numérique de terrain à 25 cm de la topographie de la plage



Figure 32 : Modèle photogrammétrique

## X.3) Topo-Bathymétrie

Après fusion et traitement des données un modèle numérique de terrain avec une résolution de 25 cm x 25 cm a été généré en considérant la moyenne des sondes dans chacune des mailles.

Ce modèle numérique de terrain permet d'établir des isobathes sur la zone ainsi que l'extraction de sondes régulières dans la zone. Ces informations sont utiles à nos experts du milieu marin pour la planification et l'organisation de leur plongée. Ces informations, livrées dans le cadre de ce marché pourront aussi servir de base de travail pour de futurs travaux.

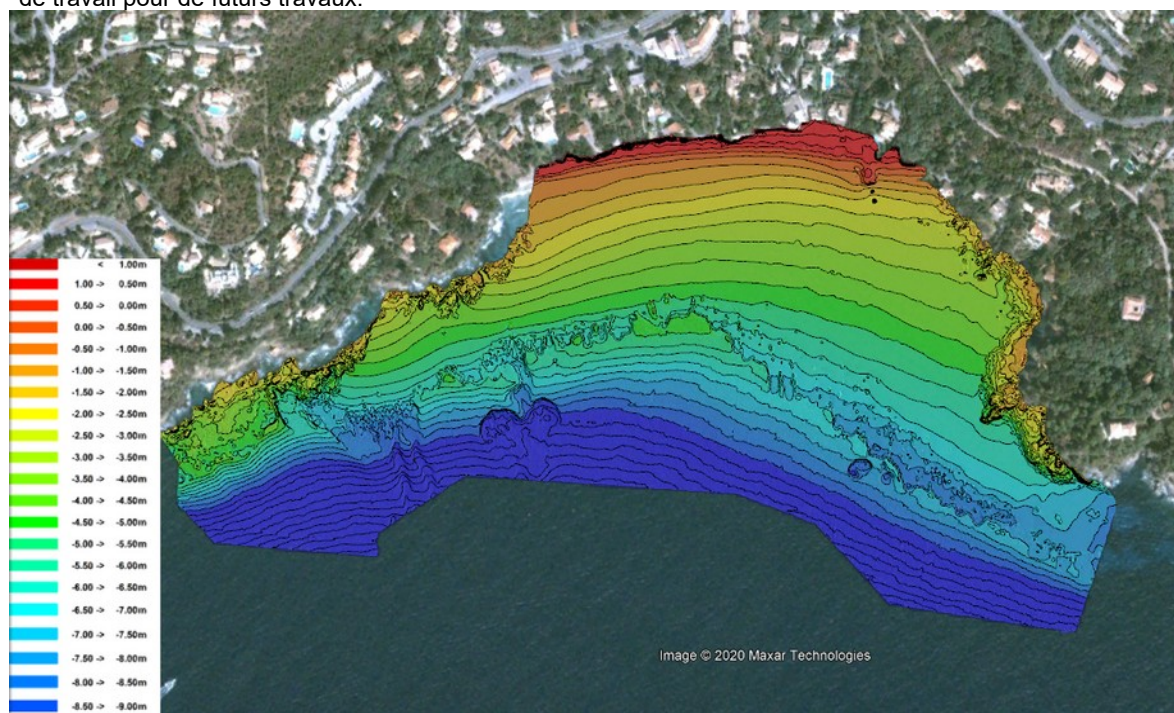


Figure 33 : Isobathes sur MNT

#### X.4) Indice topographique

Afin d'exploiter ces données bathymétriques très précises de la zone, SEMANTIC TS applique un algorithme de traitement de l'indice topographique afin de mettre en évidence les discontinuités bathymétriques de la zone. Ces informations seront utilisées pour la répartition spatiale des probabilités de présence de substrats sur le fond.

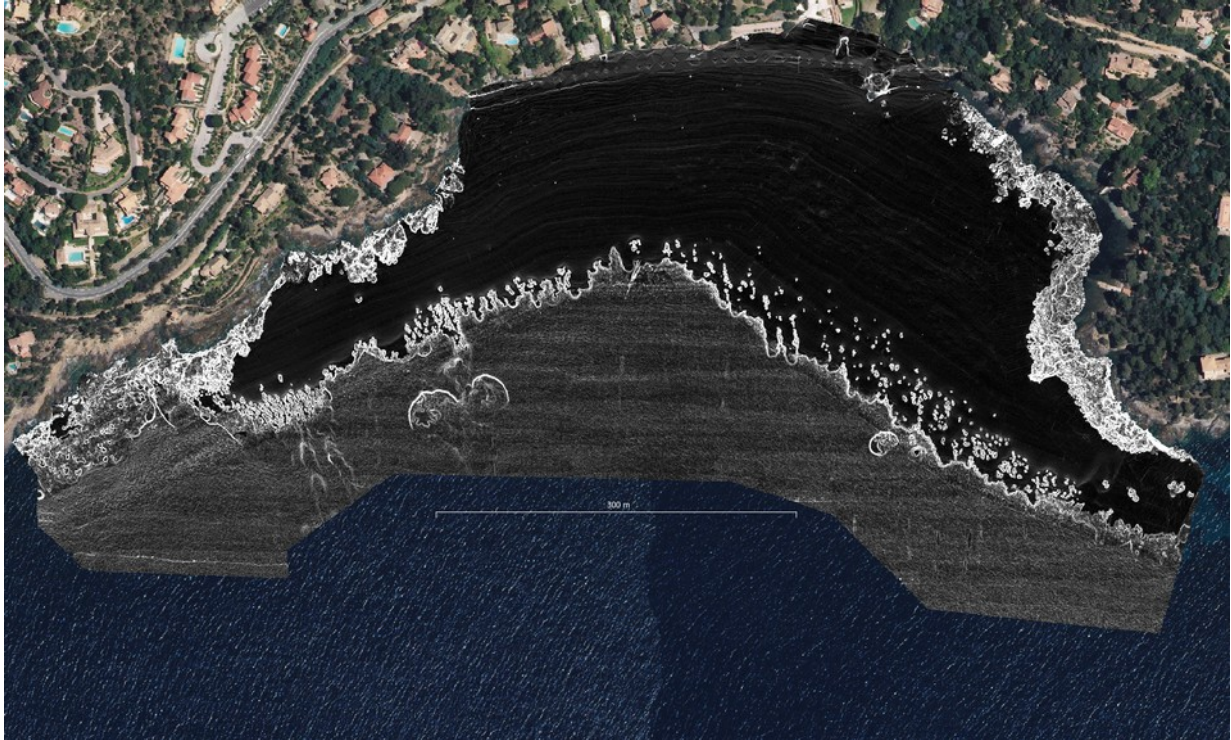


Figure 34 : Indice topographique du fond



Figure 35 : Indice relief du fond

### X.5) Résultats sonar

Après fusion et traitement des données une mosaïque sonar avec une résolution de 25 cm x 25 cm a été générée en considérant la moyenne des sondes dans chacune des mailles. Cette image met en évidence les substrats qui résonne de manière homogène ou non aux ondes acoustiques.



Figure 36 : Mosaïque sonar latéral de la zone

## XI. FUSION DES DONNÉES POUR PRÉPARATION DES MISSIONS TERRAIN

L'ensemble des données permet d'effectuer une fusion des informations et grâce à un algorithme de classification semi-automatisé, il est possible de générer une carte de probabilité de répartition spatial des biocénoses.

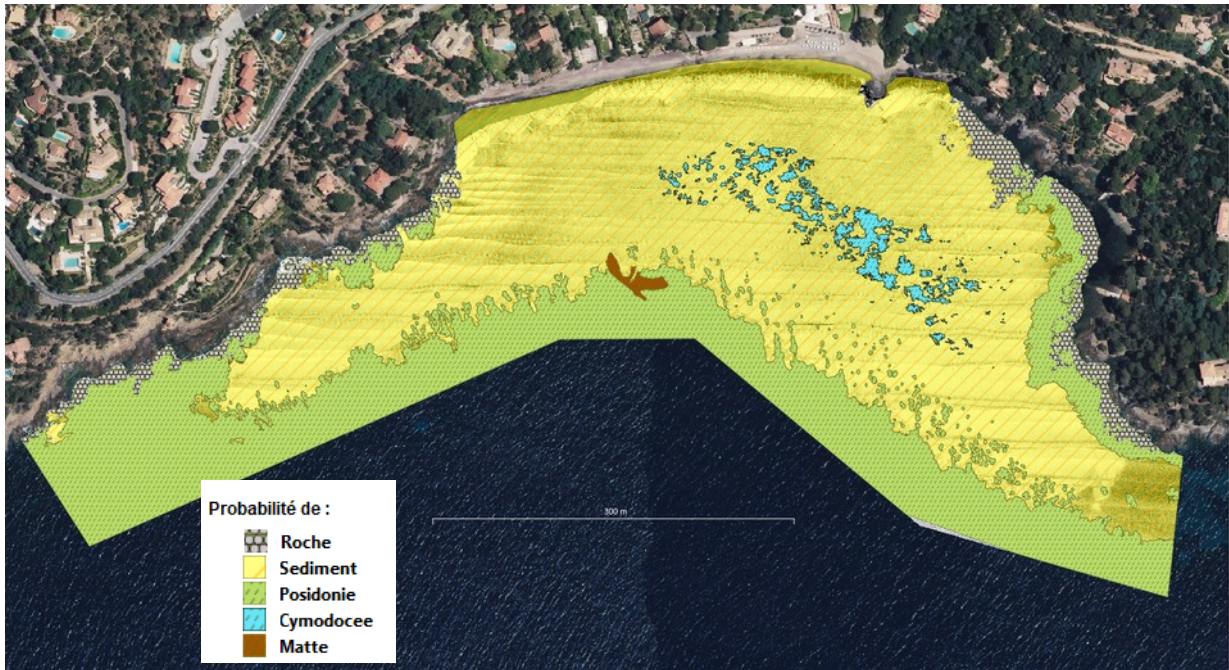


Figure 37 : Pré-cartographie des biocénoses à partir des données géophysiques