

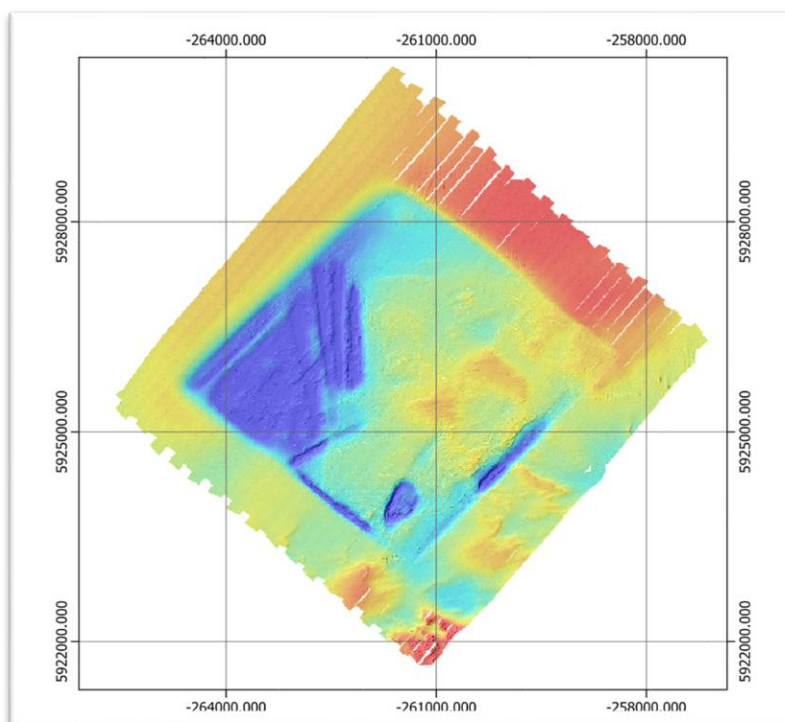
# Rapport de stage

Présenté par

Lucie TREBAOL

Promotion Andréa MARSHALL (2020-2023)

Traitement de données acoustiques pour les campagnes à la mer RESISTE2022-1 et GEOSTBRIEUC-2



Stage de 2<sup>ème</sup> année

**Bachelor**

*Océanographe prospecteur*

Maîtres de stage : M. LOUBRIEU Benoit, Mme. PIERRE Delphine

Date de stage : du 18/04 au 12/08 2022

Organisme : Ifremer

Adresse : 1625 Route de Sainte-Anne, 29280 Plouzané

Service : Geo-Ocean (Cartographie, traitement de données, Instrumentation)



## Remerciements

Je souhaite remercier en premier lieu mes maitres de stages, Benoit LOUBRIEU et Delphine PIERRE, pour le temps qu'ils m'ont consacré, le partage de leurs expériences et leurs savoirs. Grâce à eux, j'ai fait de superbes rencontres, j'ai pu embarquer et j'ai eu la possibilité de participer à de nombreuses réunions. J'en ressort avec une image plus claire du monde du travail, et une approche plus professionnelle du métier. Ils m'ont très bien accueilli dans les locaux de l'Ifremer.

Je voudrais également remercier Laure SIMPLET, chef de mission de la campagne RESISTE qui m'a encouragé à travailler sur le jeu de données, ainsi que David MENIER et Romain LE GALL, pour la campagne GEOSTBRIEUC. Ils m'ont guidé sur le raisonnement à avoir pour l'interprétation des résultats et m'ont donné une idée plus claire du métier de chercheur. Ils m'ont également donné l'occasion d'embarquer.

Je remercie particulièrement toute l'équipe ANTIPOD pour l'accueil et l'aide qu'ils m'ont apporté lors de ces quatre mois de stages, pour les moments partagés et leur partage d'expériences.

Je tiens également à remercier INTECHMER qui a permis que ce stage soit réalisable.





## Table des matières

I.	Introduction .....	1
II.	Présentation de la structure d'accueil .....	2
II.1.	L'entreprise.....	2
II.2.	Unit é de travail .....	2
II.3.	Visite des locaux .....	2
II.3.1	Le bassin d'essai.....	3
II.3.2	CREAM.....	4
III.	Logiciels utilisés .....	5
IV.	Localisation des deux zones d'études .....	6
V.	Campagne RESISTE2022-1 .....	6
V.1.	Contexte de la mission .....	6
V.2.	Objectif.....	7
V.3.	Le matériel à bord .....	7
V.4.	Le traitement de données bathymétriques .....	8
V.4.1	Chaine de traitements .....	8
V.4.2	Organisation du travail .....	11
V.5.	Analyse des méthodes de mesures.....	12
V.5.1	La célérité.....	12
V.5.2	La marée .....	15
V.6.	Conclusion .....	20
VI.	Campagne GEOSTBRIEUC.....	20
VI.1.	Contexte de la mission .....	20
VI.2.	Mission en Mer.....	20
VI.2.1	Déroulement de la mission.....	20
VI.2.2	Equipement.....	21
VI.2.3	Travail .....	21
VI.3.	Objectifs.....	21
VI.4.	Traitement des données .....	22
VI.4.1	Traitement de données bathymétriques.....	22

VI.4.2 Traitement de données sonar .....	26
VI.4.3 Traitement dans QGIS.....	28
VI.5. Analyse préliminaire.....	29
VI.5.1 Description de la zone .....	29
VI.5.2 Données .....	32
VI.6. Comparaison.....	36
VI.7 Conclusion .....	39
VII. Conclusion générale .....	40
VIII. Bibliographie .....	42

Le rapport est suivi d'annexes et d'un résumé en anglais (etended abstract).

## Table des Figures

Figure 1: Diagramme de Gant .....	1
Figure 2: Bassin d'essai (ifremer.fr_Infrastructures-de-recherche).....	3
Figure 3: Lithothèque (Rapport annuel 2018 - Ifremer Géosciences Marines) .....	4
Figure 4: Carte de la localisation des zones d'études .....	6
Figure 5: Chaîne de traitement bathymétrique dans GLOBE – mission RESISTE2022-1 .....	8
Figure 6: Carte du MNT final de la mission RESISTE.....	10
Figure 7: Arborescence RESISTE .....	11
Figure 8: Mesure de Célérité du 30/03/2022 .....	13
Figure 9 : Graphique des corrections de célérité appliqués au profil 7.....	14
Figure 10 : Capture d'écran GLOBE du MNT (couche STDEV) après correction de célérité du profil 7 .....	14
Figure 11: Graphique des corrections de célérité proposés pour améliorer le résultat (profil 7) .....	14
Figure 12: Capture d'écran GLOBE du MNT (couche STDEV) après correction de célérité proposé (profil 7).....	14
Figure 13: Graphique de comparaison de mesures de marée le 30/03/2022.....	17
Figure 14: Graphique de comparaison de mesures de marée le 30/03/2022.....	17
Figure 15: Capture d'écran du MNT (couche STDEV) avec correction de mesure RTK .....	18
Figure 16 : Capture d'écran du MNT (couche STDEV) avec correction de mesure combinée du marégraphe du port + du modèle harmonique du SHOM.....	18
Figure 17: Graphique de comparaison de mesures de marée le 02/04/2002.....	19
Figure 18: Chaîne de traitement Bathymétrique dans GLOBE - mission GEOSTBRIEUC-2 .....	22
Figure 19: Carte des profils faits lors des missions 2018 et 2022 .....	23
Figure 20 : Carte des profils sélectionnés pour l'étude .....	23
Figure 21: Graphique d'une coupe MN, comparaison de la hauteur du niveau du sol entre 2018 et 2022, zone sableuse.....	24
Figure 22: Graphique d'une coupe MNT, comparaison de la hauteur du niveau du sol entre 2018 et 2022, zone rocheuse .....	25
Figure 23: Chaîne de traitement sonar dans Sonarscope .....	26
Figure 24: Capture d'écran, fenêtre Sonarscope, filtrage interactifs .....	27
Figure 25: Capture d'écran, fenêtre Sonarscope, courbe de hauteur d'eau .....	27
Figure 26: Capture d'écran, fenêtre Sonarscope, traitement de navigation.....	27
Figure 27: Carte des courants de la baie de Saint-Brieuc .....	30
Figure 28: Diagramme Hjustrom (thèse de ).....	30
Figure 29: Carte des figures sédimentaires de la baie de Saint-Brieuc.....	31
Figure 30: Carte des courants superposé à celles des sédiments superficiels de la baie de Saint-Brieuc.....	31
Figure 31: Carte du différentiel (2022-2018) le long du profil A.....	36



Figure 32: Carte du différentiel (2022-2018) le long du profil B..... 38

## Table des tableaux

Tableau 1: Logiciels utilisés lors du stage.....	5
Tableau 2: Traitements bathymétrique dans GLOBE.....	9
Tableau 3: Tableau des calculs effectués .....	24
Tableau 4: Tableau des calculs effectués .....	25
Tableau 5: Tableau des cartes de Bathymétrie, pente, exposition et imagerie sonar de la zone d'étude du profil A .....	33
Tableau 6: Tableau des cartes de Bathymétrie, pente, exposition et imagerie sonar de la zone d'étude du profil B.....	35
Tableau 7 : Tableau des coupes du niveau du sol des MNT 2018 et 2022 le long du profil A	37
Tableau 8: Tableau des coupes du niveau du sol des MNT 2018 et 2022 le long du profil B..	39



## Liste des abréviations

ARCGIS : Logiciel de Système d'information géographique créer par la société Esri

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

CREAM : Centre de Ressources en Echantillons et Archives Marins

CTD : Conductivity Temperature Depth

DTM : Digital Terrain Model

EMODnet : European Marine Observation and Data Network

EPIC : Etablissement Public à Caractères Industriel et Commercial

GLOBE : Global Oceanographic Bathymetry Explorer

GM : Unité de recherche Géosciences Marines

GPS : Global Positioning System

IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER

MNT : Modèle Numérique de Terrain

QGIS : Quantum Geographic Information System

REM : Département des Ressources physiques et Ecosystèmes de fond de Mer

RONIM : Réseau d'Observation du Niveau de la Mer

RTK : Real Time Kinematic

SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

SIG : Système d'Information Géographique

STDEV : Standard Déviation

UBO : Université de Bretagne Occidentale

UBS : Université de Bretagne Sud

## I. Introduction

Ce rapport décrit les différentes missions lors de mon stage de deuxième année en bachelor Océanographe prospecteur (école INTECHMER – Cherbourg). Il s’est déroulé du 18 avril au 12 août au sein de l’entreprise Ifremer à Plouzané dans l’unité Geo-Ocean. Ifremer est un institut public français, spécialisé dans la recherche et l’innovation scientifique des Mers et de l’Océan. Mon maître de stage, Benoit LOUBRIEU, ingénieur en cartographie a fait en sorte que le stage se déroule dans d’excellentes conditions.

Au cours de ce stage, j’ai travaillé sur du traitement de données de deux missions d’acquisition des données à la mer dans deux zones différentes. Ces deux missions permettent les études d’observation et d’interprétation de l’évolution temporelle de ces zones.

La première mission fait partie d’un projet d’étude de la zone de résilience du Pilier, qui a débutée en 2020 au large de Saint Nazaire et la seconde poursuit l’étude de la baie de Saint-Brieuc qui a débutée en 2018. La conduite de plusieurs missions à des dates espacées permet d’étudier l’évolution des fonds marins. Ainsi, on peut déterminer si de l’érosion, de l’engraissement et/ou du déplacement sédimentaire a eu lieu. Pour ces deux missions l’objectif est d’obtenir une précision maximale afin d’observer des changements de dix à vingt centimètres à des profondeurs de 25m.

Mon rapport présente en premier lieu l’entreprise et le cadre du stage. Seront ensuite présentés, les études sur la campagne RESISTE, puis les études sur la campagne GEOSTBRIEUC. Pour finir, la dernière partie exposera les limites d’étude, les recherches complémentaires et ce que le stage a pu m’apporter.

Voici ci-dessous le diagramme de Gant décrivant le temps apporté pour chacune des tâches réalisées.

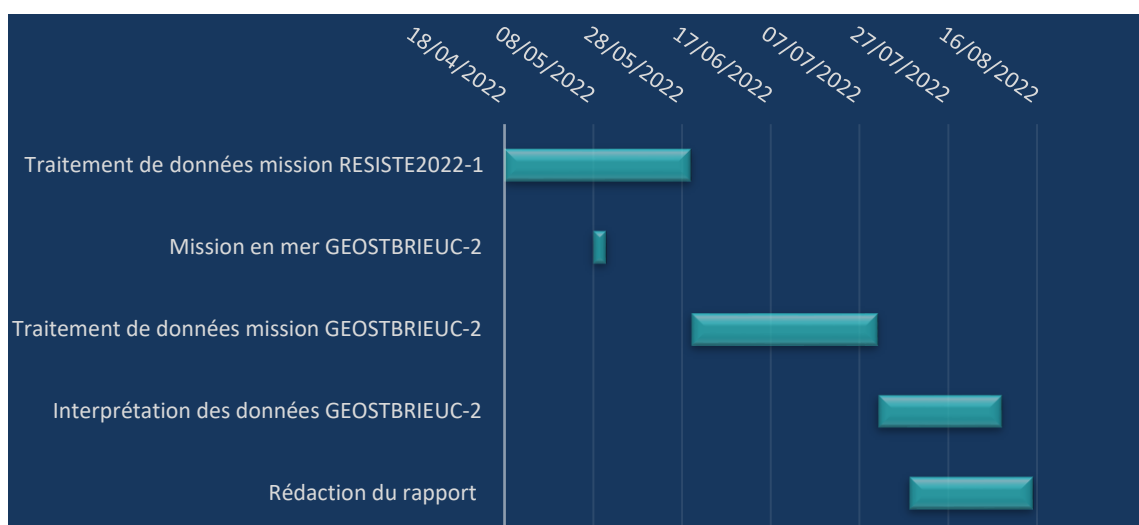


Figure 1: Diagramme de Gant

## II. Présentation de la structure d'accueil

### II.1. L'entreprise

Ifremer est l'Institut Français de recherche pour l'Exploitation de la Mer fondé en 1984. C'est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC). Il contribue au système de recherche et d'innovation national et à la recherche européenne et internationale.

L'institut est également opérateur de la Flotte Océanographique Française et réalise des missions de recherche en mer, au cours desquelles son colléctées de nombreuses données, mise à disposition pour les équipes scientifiques et pour un large éventail de thématiques. Leurs objectifs sont d'accroître la connaissance des océans et de créer des innovations permettant de surveiller les océans.

Ifremer est composé de 5 centres et une vingtaine d'implantations répartis sur toute la façade maritime française, en métropole et dans les DOM-TOM. Le siège social se situe à Plouzané. Son étalement géographique facilite l'exercice de ses missions dans tous les océans.

### II.2. Unit é de travail

L'Ifremer est organisé en plusieurs départements de recherche selon des thématiques générales de recherche, eux – mêmes divisés en plusieurs unités (organigramme annexe 1).

Mon stage se déroule dans le département des Ressources physiques et des Ecosystèmes de fond de Mer (REM) et dans l'unité de recherche Géosciences Marines (GM), devenu l'unité Géo-Océan, une unité mixte de recherche associant également l'UBO (Université de Bretagne Occidentale), l'UBS (Université de Bretagne Sud) et le CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique). Dans cette unité je suis rattachée au service ANTIPOD (Analyses, Télédétection, Instrumentation, Prélèvements, Observation et Données).

Ce service a une finalité de soutien et développement technique et travaille sur la cartographie des fonds marins, l'acquisition et le traitement de données acoustiques, le développement des solutions informatiques pour l'analyse de données. Il contribue également à plusieurs projets importants comme EMODnet Bathymetry (cartographie des mers européennes), EXTRAPLAC (délimitation du plateau continental) et Ressources Minérales (étude des environnements et ressources sous-marines) (Cf. annexe (...), organigramme).

### II.3. Visite des locaux

Au cours de mon stage, j'ai pu visiter deux infrastructures de l'Ifremer, le bassin d'essai et le Centre de Ressources en Echantillon et Archives Marins, CREAM. Ces découvertes m'ont donné un aperçu des thématiques et des activités différentes associées à l'exploration marine.

### II.3.1 Le bassin d'essai

Le bassin d'Ifremer mesure 50m de long et 12,5m de large, une partie est à 10m et une autre à 20m de profondeur (cf. figure 2). Sur l'un des côtés, un mur amovible en forme de dôme permet de recréer tous types de plages et stopper l'énergie, de l'autre côté des moteurs permettent de recréer tous types de houles (récemment installé, toujours en construction). Ce bassin est un des rares équipements en France à l'eau de mer, ce qui permet des tests et expérimentations plus adaptés pour le milieu marin. Différents capteurs sont installés autour du bassin (capteurs d'énergie, de mouvement, de hauteur d'eau ...).

Lors d'une journée, j'ai participé à la fin de la mission test de flotteurs Argo. Ce sont des appareils neufs, jamais utilisés, testés dans le bassin pour valider le bon fonctionnement. Les deux scientifiques qui s'occupent de cette mission pour le projet EUROARGO (<https://www.euro-argo.eu/>) sont Noé Poffa, d'IFREMER et Natanaële Le Breton, SHOM coordination Argo-France. Les objectifs de la journée ont été de sortir les capteurs de l'eau, les nettoyer (en particulier la sonde CTD avec un produit pour la stériliser), extraire les données des capteurs (en Bluetooth) puis ranger les capteurs dans leurs caisses de stockage.

Les flotteurs Argo sont des instruments déployés en mer qui vont se déplacer principalement avec les courants de la zone. Il y a plus ou moins de capteurs installés dessus comme une sonde CTD, une sonde de température, une sonde de salinité, une sonde de conductivité, une sonde de turbidité .... Ces flotteurs sont programmés à l'avance pour contrôler l'heure de plongée, l'heure de remontée, la durée de mise en surface, la durée et la profondeur de plongée. Dès que le flotteur remonte à la surface il envoie ses données. Ces flotteurs sont créés pour résister 2 ans en moyenne dans les océans. La France en déploie 40 par an, le plus souvent en Atlantique.

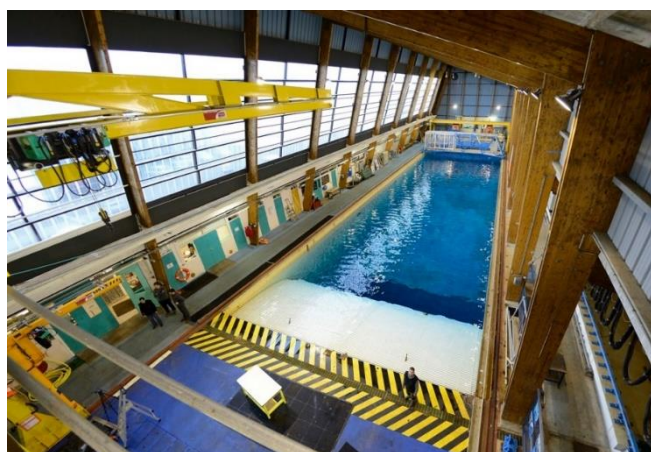


Figure 2: Bassin d'essai (ifremer.fr\_Infrastructures-de-recherche)

### II.3.2 CREAM

CREAM, Centre de Ressources en Echantillons et Archives Marins est une lithothèque. Il regroupe tous les échantillons (de roches, de sédiments...) récoltés lors de missions océanographiques menées par l’Ifremer depuis 1970.

C’est un entrepôt organisé en deux zones :

- Une première zone sert à classer les échantillons de roches et de sédiments dans plusieurs rangées d’armoires, elle se situe dans des locaux à température peu élevée et contrôlée.
- La seconde zone (figure 3) sert à classer toutes les carottes sédimentaires dans 5 rayons de 5 niveaux pouvant se remplir recto-verso d’une section de 1 mètre. C’est une grande chambre froide maintenue à une température de 4°C. Sa capacité de stockage est équivalente à 80 km de section. Chaque section est stockée dans une boîte qui possède une étiquette avec un code barre. Ce code nous ramène directement au site web d’inventaire et catalogage (Archimed) avec toutes les informations de la section (le nom, le lieu, la date de la mission, quel échantillon la section contient et le type d’analyses réalisées dessus). Une modélisation 3D de CREAM permet de retrouver rapidement l’échantillon qu’on recherche.



*Figure 3: Lithothèque (Rapport annuel 2018 - Ifremer Géosciences Marines)*

### III. Logiciels utilisés

Pour les différents objectifs de mon stage, j'ai utilisé plusieurs logiciels de traitement et d'analyse de données, résumés dans le tableau 1.

Nom du logiciel	Caractéristique	Type de données traitées	Objectif
Excel - Spyder	Spyder permet de développer un code en langage python.	Fichiers de données de célérité et de marée	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduire les fichiers (Spyder)</li> </ul> Traitement des données et interprétation, création de graphiques (Excel)
GLOBE (Global Oceanographic Bathymetry Explorer)	Créé par Ifremer (en constante évolution) Version 1.19.3	Données bathymétriques	<ul style="list-style-type: none"> <li>Traiter les données acoustiques géo localisées en 3D sur le globe</li> <li>Créer des MNT</li> </ul>
Sonarscope	Créé par Ifremer Version 2021(64 bits) et 2022(64 bits)	Données sonar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Créer des mosaïques d'imagerie de fond</li> </ul>
Qgis et ArcGIS	Logiciels de SIG (Systèmes d'informations géographiques)  Libre-service (QGIS) Avec licence (ArcGIS)	MNT, Différentiels, mosaïque, shape	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interpréter les résultats</li> <li>Créer des cartes</li> </ul>

Tableau 1: Logiciels utilisés lors du stage



## IV. Localisation des deux zones d'études

Voici la carte de localisation de mes deux zones d'étude. La mission RESISTE2022-1, au large de la Loire Atlantique près de l'embouchure de la Loire. La mission GEOSTBRIEUC-2, au large des Côtes d'Armor au nord de la Bretagne (figure 4).

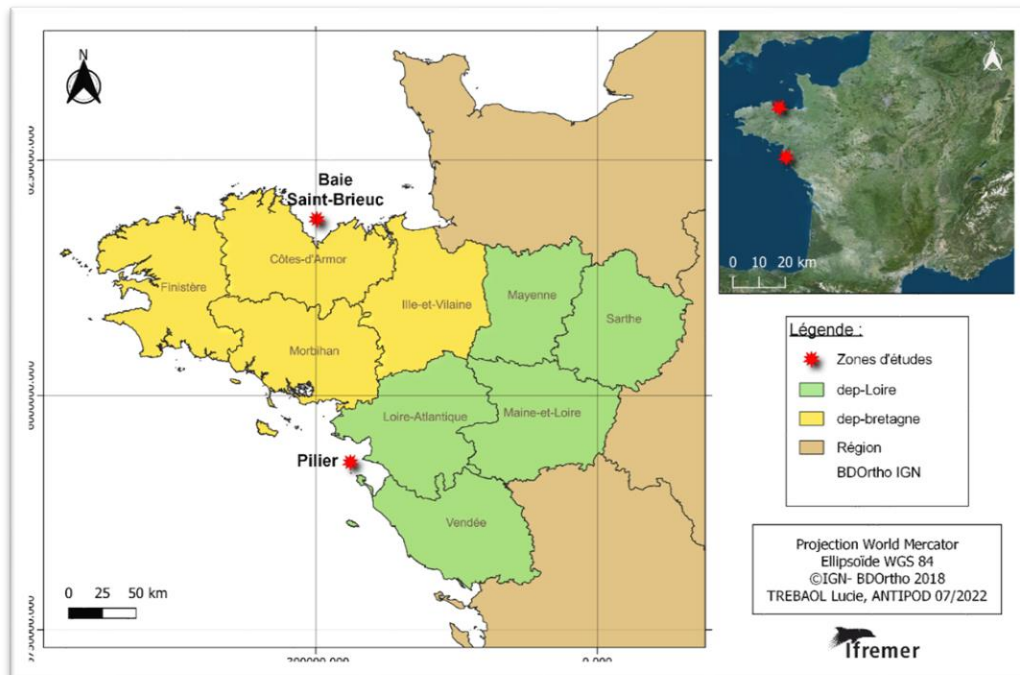


Figure 4: Carte de la localisation des zones d'études

## V. Campagne RESISTE2022-1

### V.1. Contexte de la mission

De nos jours l'approvisionnement en granulats des territoires littoraux se fait par exploitation de sites marins. Près de 7 millions de tonnes de granulats marins sont extraits annuellement en France. Pour autant, ces actions font l'objet de nombreuses polémiques sur leur impact environnemental (destruction de la vie benthique, restructuration du fond, modification de la dynamique sédimentaire...). Seulement 7 études ont été faites sur le devenir de ces zones d'extraction après l'arrêt d'activités (Kenny et al., 1994 ; Boyd et al., 2004 ; Cooper et al., 2008 ; Foden et al., 2009 ; Frojàn et al., 2011 ; Desprez, 2000 ; Le Bot et al., 2010).

L'ancienne zone d'extraction du Piliers a été exploitée durant 31 ans (de 1987 à 2018). Plus de 40 Mm<sup>3</sup> de granulats ont été prélevés, soit une souille de 2,5km<sup>2</sup> avec pour maximum 8m de profondeur à l'ouest de la zone. Ce site est actuellement fermé à l'extraction et ne ré-ouvrira pas.

En 2017, un levé bathymétrique et morphologiques de fin de travaux indique la présence d'une modification de la nature du sédiment superficiel. La vie benthique a également changé.

Ifremer a lancé un projet, appelée RESISTE, pour l'étude de la capacité de résilience d'un site soumis à une pression anthropique. Le site du Pilier est pris comme zone de travail, au total quatre missions océanographiques ont été effectuées à bord du navire océanographique N/O Thalia depuis 2020, espacées d'environ 6 mois. La dernière campagne, RESISTE2022-1 a été réalisée du 28 mars au 6 avril 2022. Lors de chaque mission, des données du sondeur multifaisceaux ainsi que des données de sonar latéral ont été acquises.

## V.2. Objectif

A l'issue des campagnes, plusieurs des travaux réalisés consistent à analyser des différentiels bathymétriques et morphologiques qui s'appuient sur des modèles numériques de terrain (MNT) obtenus par le traitement des données.

Ces analyses montrent que les évolutions bathymétriques observées au cours du temps peuvent avoir une amplitude faible de l'ordre d'une dizaine de centimètres. Il est donc essentiel, lors du traitement de données, de réduire au maximum les incertitudes et sources d'erreurs qui peuvent avoir les mêmes ordres de grandeur et rendre l'analyse plus complexe, mélangeant des évolutions réelles avec des biais de mesures ou de traitements.

Deux sources d'incertitudes principales ont été identifiées à l'occasion du traitement des données des campagnes précédentes : la correction de marée et le suivi de la célérité.

La première partie de mon stage a consisté à traiter les données de la campagne RESISTE2022-1 et d'analyser les méthodes de réduction de marée et correction de célérité afin de minimiser les incertitudes qu'elles peuvent générer et choisir une chaîne de traitement la plus adaptée.

## V.3. Le matériel à bord

La N/O Thalia est un navire côtier de recherche de la flotte océanographique française, il mesure 24,5m. Il est équipé de plusieurs instruments, comme le conteneur Bassop qui sert à l'acquisition des données, le sondeur multifaisceaux, le sonar latéral, le célérimètre de coque, auxquels s'ajoutent également le marégraphe qu'on déploie en mer lors de la mission et les Sippican qui sont des sondes de température jetables. Tous ces instruments sont décrits en annexe (2).

## V.4. Le traitement de données bathymétriques

Un des objectifs de mon travail pour les données de cette mission est de réaliser un MNT de la zone d'étude avec les données acquises lors de la campagne RESISTE2022-1, pour pouvoir les comparer avec les données traitées des missions précédentes. Il faut donc que le traitement des données minimise la marge d'erreur afin d'avoir une mesure de hauteur d'eau la plus précise. Pour le traitement de données, j'ai utilisé le logiciel GLOBE.

### V.4.1 Chaîne de traitements

Plusieurs corrections sont à appliquer aux données brutes. Après chaque traitement, un suffixe est ajouté dans le nom du fichier « .mbg » avant de l'enregistrer. Cela permet de connaître facilement le niveau de traitement de chaque fichier.

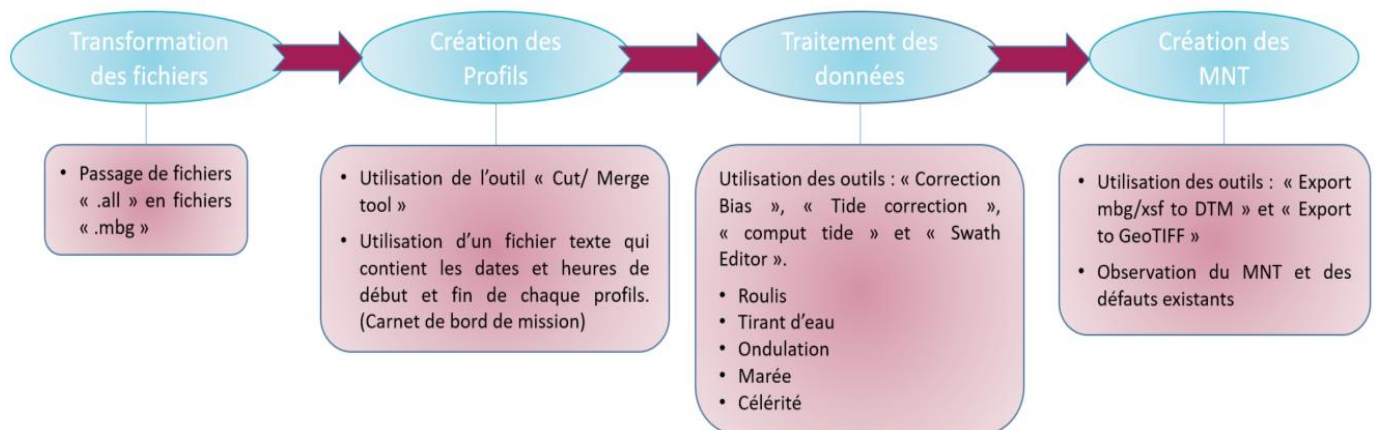


Figure 5: Chaîne de traitement bathymétrique dans GLOBE – mission RESISTE2022-1

Correction	But de la correction	Réalisation du traitement
Roulis	Limiter les erreurs de bathymétrie causées par mauvaise correction d'altitude du bateau.	Correction de biais avec un fichier texte contenant la mesure de correction à appliquer. Utilise l'outil « Bias Correction ».
Tirant d'eau	Le tirant d'eau d'un bateau évolue en fonction de la quantité de carburant du bateau, de la quantité de vivre, etc. Cela doit être pris en compte pour limiter les erreurs de mesure de la hauteur d'eau.	Correction de biais avec un fichier texte pour chaque jour contenant la mesure de correction à appliquer. Le tirant d'eau est mesuré à quai, pour les jours en mer il est calculé par répartition égale de la variation entre 2 passages à quai.
Ondulation	En bordure de fauchée, sur les MNT, un effet ondulé régulier est parfois observable. La centrale d'altitude n'est pas bien synchronisée avec le sondeur.	Correction de biais avec un outil de l'ancien logiciel de traitement de données bathymétrique, Caraïbes.
Marée	La marée évolue constamment. Pour avoir une bonne mesure de la hauteur d'eau, il faut recalculer les valeurs des sondes par rapport au zéro hydrographique.	Avec l'outil « comput tide » Créer des fichiers « .ttb » de marée pour chaque jour. Puis avec l'outil « Tide correction », utiliser ces fichiers pour appliquer une correction sur les fichiers « .mbg ».
Filtrage	Le nettoyage manuel sert à supprimer les sondes aberrantes.	Menu « Swath éditeur », sélectionner la zone à corriger, avec la souris supprimer les sondes aberrantes.
Célérité	La correction de célérité permet de redresser les profils côte-côte pour qu'ils se recollent au mieux. Cette correction réduit les erreurs des MNT.	Créer des fichiers « .cor » de correction de vitesse du son. Pour cela ouvrir les fichiers « .mbg » dans le « swath éditeur » qui affiche les sondes en nuage de point une fois que la zone à traiter est sélectionnée. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sélectionner la zone à corriger</li> <li>- Cliquer dans « tool », « bias correction », choisir le profil à corriger</li> <li>- Choisir la mesure de correction.</li> <li>- Une fois toutes les corrections faites, les exporter en fichier « .cor »</li> <li>- Appliquer le fichier de correction au fichier « .mbg » correspondant avec l'outil « bias correction ».</li> </ul>

Tableau 2: Traitements bathymétriques dans GLOBE

A l'aide de capture d'écrans faits dans le logiciel GLOBE, sont montrés des exemples de bons résultats des étapes de traitements en annexe 3.

Après ces traitements, la dernière étape est la réalisation des modèles numériques de terrain des zones qui nous intéressent. Faire un MNT entre chaque étape de traitement permet de valider les corrections successives. En outre, il faut éviter de trop filtrer pour ne pas supprimer les sondes correctes.

Les données sont exportées en format DTM (Digital Terrain Models). Il faut choisir une zone géographique, une projection et une taille des pixels identiques à chaque mission. La vérification des traitements se fait en jouant sur l'ombrage, en ajoutant de l'exagération et en choisissant une couche de donnée qui s'affiche avec une palette de couleur. Le MNT à plusieurs couches d'informations différentes :

- « Elevation » contient la valeur moyenne de hauteur d'eau pour chaque pixel, elle représente la bathymétrie de la zone. Les valeurs sont représentées par une gradation de couleur, l'éclairage et l'ombrage peuvent être modifiés pour mieux visualiser à la fois les morphologies et les éventuels défauts restants.
- « STDEV » Standard déviation qui représente l'écart type, c'est un indicateur de dispersion dans la cellule et peut renseigner sur des défauts qui subsistent. Les valeurs sont également représentées par une gradation de couleur,

Le MNT est ensuite enregistré en format (GEOTIFF) pour pouvoir l'ouvrir dans des logiciels de SIG pour l'interprétation. La carte ci-dessous (figure 6) est le MNT final.

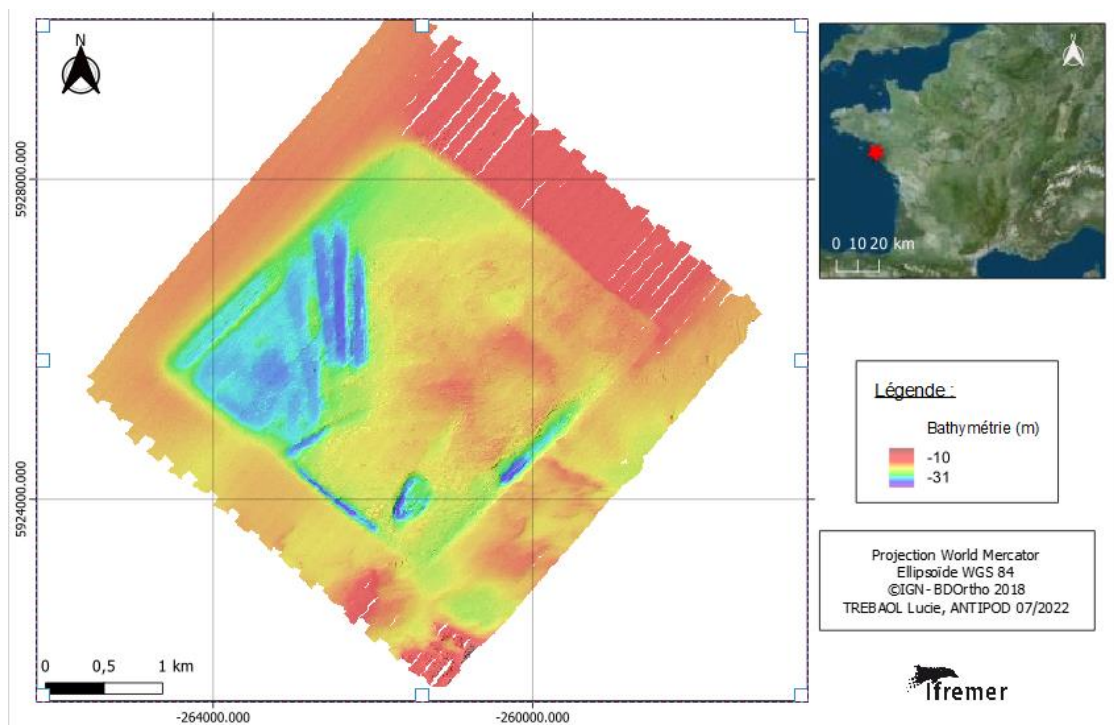


Figure 6: Carte du MNT final de la mission RESISTE

## V.4.2 Organisation du travail

La création d'une arborescence standard est importante pour organiser le travail, son suivi et par la suite son archive. Beaucoup de traitement vont être réalisés. Voici l'arborescence que j'ai choisie (figure 7) :

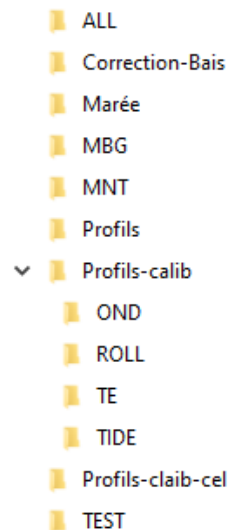


Figure 7: Arborescence RESISTE

Les profils sont rangés par jour de mission, chaque profil correspond à une ligne continue suivie par le bateau.

- Dans « **Correction-biais** », sont enregistrés les fichiers créés ou existant permettant d'appliquer au profils des corrections de biais.
- Dans « **Marée** », sont enregistrés les fichiers de correction de marée créées dans GLOBE ou fournis par Genavir.
- Dans « **MNT** », sont enregistrés les fichiers DTM au format du logiciel GLOBE et leurs conversions au format GéoTIFF.
- Dans « **Profil-calib** » plusieurs sous-dossiers sont créés dans lequel les profils traités sont enregistrés :  
OND pour la correction d'ondulation  
ROLL pour la correction de roulis  
TE pour la correction de tirant d'eau  
TIDE pour la correction de marée
- Dans « **Profil-calib-cel** », sont enregistrés les profils pour lesquels le traitement de célérité est appliqué.

## V.5. Analyse des méthodes de mesures

La seconde partie de mon travail sur la mission RESISTE2022-1 consiste à analyser les méthodes de correction de marée et de célérité. Ces deux paramètres impactent largement la conversion de la mesure acoustique en profondeur absolue. La question est donc « quelle méthode suivre pour réduire les incertitudes liées à ces corrections appliquées ? ». Par la suite, la méthode idéale sera proposée pour être appliquée lors de la correction des données de chaque campagne successive pour assurer l'homogénéité. Cela permettra de réduire les incertitudes pour l'analyse des différentiels bathymétriques.

### V.5.1 La célérité

La célérité est la vitesse de propagation d'une onde dans un milieu. Elle varie beaucoup dans la colonne d'eau en fonction de différents paramètres (la salinité, la température, les courant de la zone). Dans le traitement des données bathymétriques, ce paramètre est très important, car il permet la conversion de la mesure du temps parcouru par le signal acoustique en une valeur de profondeur que l'on exploite. La zone d'étude se situe proche de l'embouchure de la Loire. Dans cette zone un mélange important d'eau douce et d'eau salée peut se produire, la variation de célérité y est complexe. Le but est de trouver une manière plus précise de corriger les erreurs possibles liées à une évolution de la célérité.

Deux types de données de célérité avec lesquelles j'ai travaillé sont collectés :

- Les mesures en continu de la célérité de surface, avec le célérimètre de coque.
- Les mesures ponctuelles de température pour toute la colonne d'eau, avec les sondes jetables Sippican. En temps réel le profil de célérité est calculé à partir de ces données de température, couplé avec une valeur estimée de salinité et utilisé par le sondeur multifaisceaux.

Avec ces données plusieurs étapes de traitements ont été faites :

- Filtrage des fichiers :

Une fois récupéré les fichiers de données du célérimètre de coque, les fichiers doivent être échantillonnés pour réduire la quantité de données (une mesure toutes les trente secondes) et pour supprimer les valeurs à zéro. Pour cela j'ai écrit un programme spyder (disponible en annexe 4).

- Traitement des données :

Pour chaque journée ou profil d'acquisition, des graphiques représentant la célérité de surface en fonction du temps sont créés (Excel). Est illustré dessous le graphique de la journée du 30 avril 2022 (figure 8).

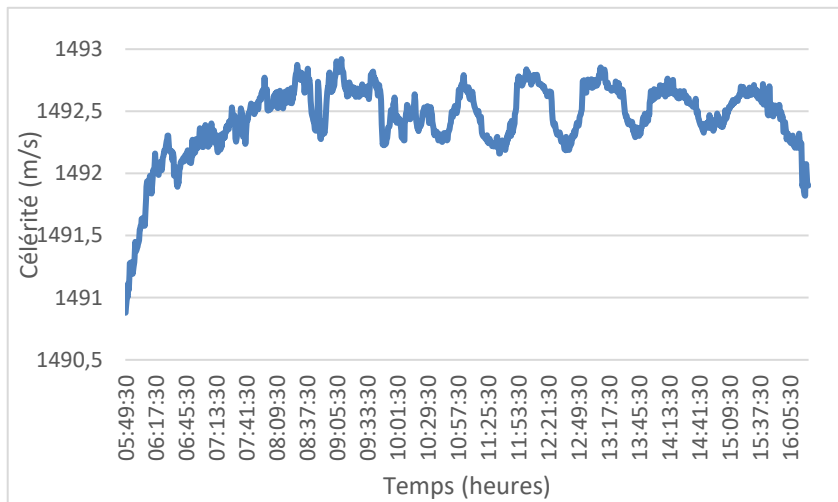


Figure 8: Mesure de Célérité du 30/03/2022

Pour surveiller des variations, la célérité de surface du Sippican est comparée de façon continue avec les mesures du célérimètre de coque. Les mesures Sippican sont espacées dans le temps. Si on constate un écart trop grand entre la mesure Sippican et la mesure du célérimètre de coque, une nouvelle mesure Sippican est faite (en moyenne, 3 mesures par jours). Par conséquent, pendant un certain temps la valeur de célérité rentrée dans le sondeur ne change pas. La variation de la célérité de surface n'est donc pas prise en compte.

En post-traitement, GLOBE permet d'appliquer les corrections de célérité à des dates et heures précises sur les profils. Entre deux corrections de célérité, une interpolation est établie.

Prenons comme exemple le profils 7 :

Une correction classique de célérité est faite dans GLOBE. La localisation des corrections successives ne tient pas compte de la courbe de célérité de surface et la précision n'est pas optimale. Sur le graphique ci-dessous (figure 10) de la variation de célérité en fonction du temps (profil 7), les barres verticales rouges indiquent les heures auxquelles une correction de célérité a été appliquée. La figure de gauche (figure 9) est une image du MNT obtenue après la correction manuelle de célérité. Le MNT est observé avec la couche STDEV (écart type) avec une variation de couleur allant du bleu (valeur nul) au rouge (0,15m). On observe, sur le MNT, une zone d'erreur (zone plus claire) entre 9h34 et 9h42. Cette zone est représentée sur le graphique par les deux barres vertes. La courbe de célérité évolue entre les deux barres vertes alors qu'une seule correction n'a été faite.



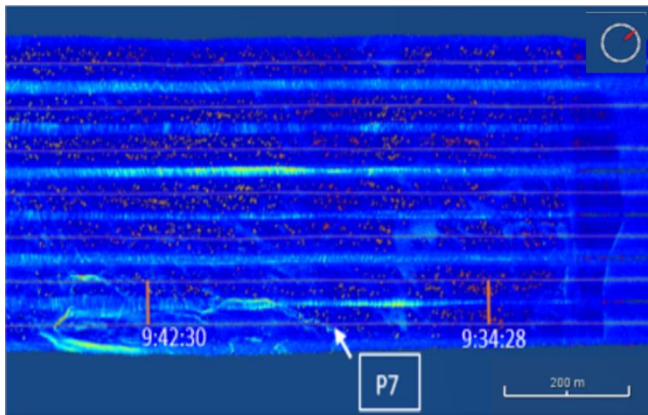


Figure 10 : Capture d'écran GLOBE du MNT (couche STDEV) après correction de célérité du profil 7

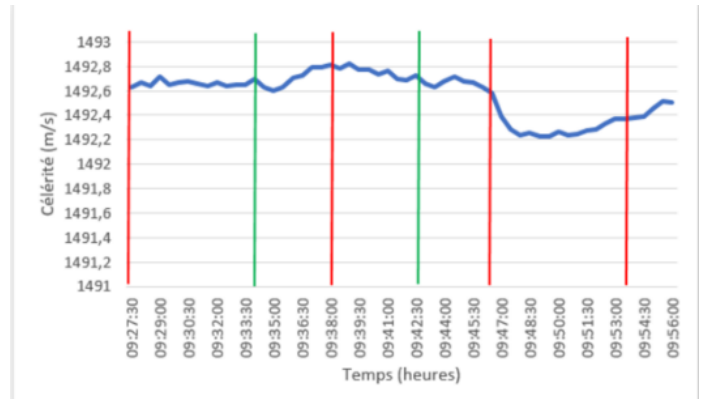


Figure 9 : Graphique des corrections de célérité appliqués au profil 7

Les corrections manuelles ne sont pas assez précises car entre deux corrections, la courbe de célérité de surface a évolué. En travaillant sur une répétition des corrections plus importantes qui suivraient les variations de la célérité et qui seraient appliquée aux moments les plus pertinents, l'erreur pourrait être réduite. Sur graphique du profil 7 de l'évolution de célérité (figure 12), les barres mauves sont un exemple de répartition de corrections à appliquer. En suivant cet exemple de correction, sur le MNT obtenu (figure 11), l'erreur du MNT obtenu après la première correction (figure 9) n'existe plus. Cette démarche de correction est donc plus optimale et l'incertitude est réduite.

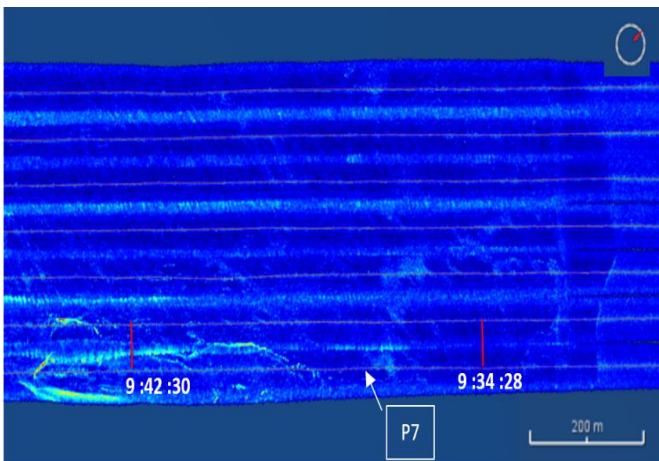


Figure 12: Capture d'écran GLOBE du MNT (couche STDEV) après correction de célérité proposé (profil 7)

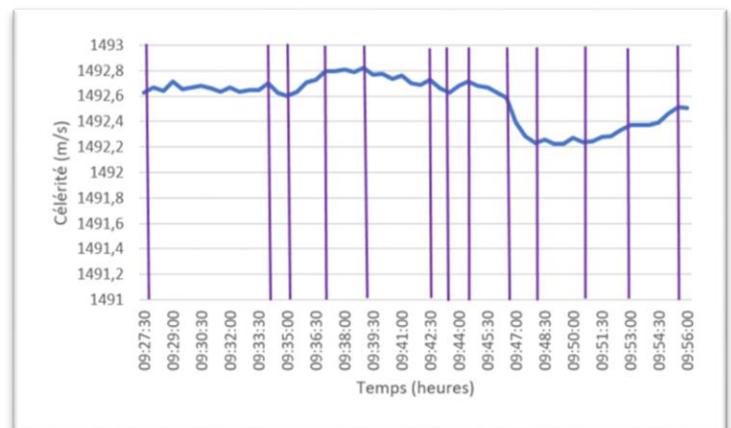


Figure 11: Graphique des corrections de célérité proposés pour améliorer le résultat (profil 7)

## V.5.2 La marée

La marée est un paramètre très important lors de la correction de données brutes. Les profils de bathymétrie sont réalisés à des heures et des jours différents. Or la marée évolue constamment, c'est un mouvement oscillatoire du niveau de l'eau formé par l'attraction de la lune exercée sur la terre. Le niveau de l'eau change en fonction de l'heure et chaque jours le coefficient de la marée est différent. Pour que tous les profils d'acquisition soient corrects et bien alignés verticalement, il faut appliquer cette correction.

Au cours du traitement des données des campagnes RESISTE des années 2021 et 2022, les collègues de l'équipe ANTIPOD ont observé l'impact important de l'incertitude sur la marée sur la résolution, la qualité des MNT et des différentiels bathymétriques qui sont calculés.

Mon travail a consisté à analyser la pertinence et la cohérence de chacune des informations de marée pour proposer une méthodologie de réduction de marée à appliquer, de manière répétitive, aux données de ces campagnes.

En premier lieu, une analyse comparative de toutes les informations de marée dont je dispose est faite, en utilisant le tableur Excel. Par la suite, on s'intéresse plus particulièrement aux deux types de détermination de la marée « marégraphe au port + modèle harmonique du SHOM » et « RTK ». Le but est de proposer une méthode à répéter sur des jeux de données successifs.

- Les méthodes de mesure de la marée

La mesure de la marée peut être faite de différentes manières :

- Mesure par marégraphe au port :

Le marégraphe est un instrument de mesure de hauteur d'eau. Le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) gère un réseau de marégraphe « RONIM » (Réseau d'Observation du Niveau de la Mer) qui compte au total 50 observatoires. Ce sont des marégraphes côtiers numériques permanents. Toutes les données mesurées sont quasi instantanément mises à disposition. L'avantage de cette méthode est l'obtention rapide de données mais l'inconvénient est que la mesure est faite dans un port, or la mission RESISTE se passe au large donc les données de hauteur d'eau ne correspondent pas exactement aux données de la zone de mission. Pour cette mission, le marégraphe choisi est celui du port de l'Herbaudière situé sur l'île de Noirmoutier.

- Mesure par modèle harmonique :

Le modèle harmonique est un modèle de prédiction de marée fait par le SHOM. Il représente la marée dans le domaine spatial, mesurée par des composantes harmoniques de fréquences définies avec précision par l'étude de la variation de la marée sur une longue durée. La marée peut être définie par un nombre illimité d'oscillations périodiques. La précision obtenue est centimétrique. Ce modèle harmonique a été fourni à Ifremer par le SHOM.

- Mesure combinée par marégraphe au port et modèle harmonique :

Au port, la mesure de la marée peut être faite par le marégraphe côtier en temps réel et par le modèle harmonique du SHOM en prédiction. Le calcul de la différence entre les deux nous donne la mesure de surcote qu'on utilise pour corriger la mesure de la marée prédite du modèle harmonique du SHOM sur la zone d'étude. C'est la méthode la plus utilisée, elle est bien justifiée lorsque la zone d'étude est proche des côtes et qu'un marégraphe soit installé dans un port à proximité.

- Mesure par marégraphe installé en mer :

Au début de chaque campagne, GENAVIR installe un marégraphe en mer qui est récupéré à la fin de celle-ci. Ce marégraphe est installé en dehors de la zone d'étude pour éviter de le percuter avec le sonar et dans une zone à l'abris d'activité anthropique comme la pêche. C'est un capteur qui mesure la pression de la colonne d'eau et qui convertit cette donnée en hauteur d'eau. Le calcul est celui-ci :

$$H = (P + Tare - Patm) / \rho g$$

P = Pression mesurée (bar)

Tare = valeur approché de la pression atmosphérique (bar)

Patm = pression atmosphérique

$\rho$  = densité de l'eau (Kg/m<sup>3</sup>)

g = gravité (m/s<sup>2</sup>)

- Mesure par RTK :

La mesure de la marée peut se faire aussi par une mesure RTK (Real Time Kinematic) d'une antenne GPS (Global Positioning System) installé sur un bateau. Cette antenne mesure la hauteur entre celle-ci et l'ellipsoïde de référence. Pour en déduire ensuite la hauteur de marée, on soustrait à cette mesure la hauteur entre le zéro Hydrographique et l'ellipsoïde puis on lui ajoute la mesure du tirant d'eau. Le modèle du SHOM, (bathyelli = donne cet écart entre ZH et E).

$$\text{Marée RTK} = H \text{ antenne/ellipsoïde} - H \text{ ZH/ellipsoïde} + \text{tirant d'eau}$$

- Comparaison des méthodes

Afin de déterminer les différences entre chacune de ces méthodes, j'ai comparé les données de marées obtenues sur Excel.

On peut remarquer, avec le graphique de la marée du 30 mars 2022 (figure 13) que les données de marée obtenue par le marégraphe installé en mer sont similaires aux données de marée obtenue par la mesure combinée du marégraphe au port et du modèle harmonique.

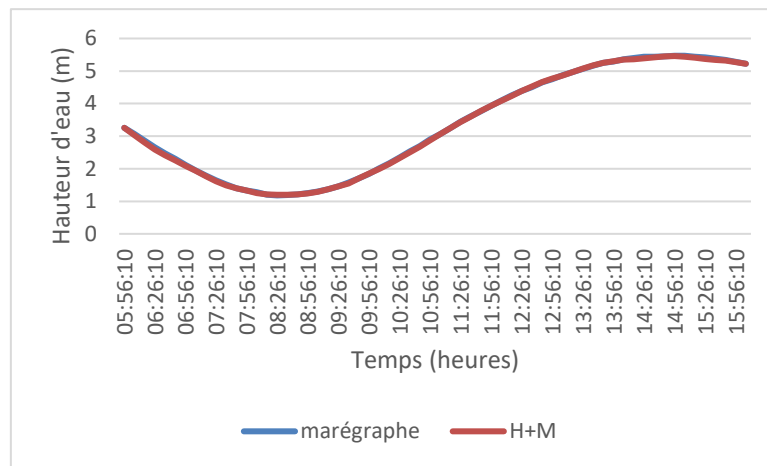


Figure 13: Graphique de comparaison de mesures de marée le 30/03/2022

Lorsqu'on compare les données de marées RTK avec les données de marée combinée du marégraphe du port et du modèle harmonique (figure 14), on observe un écart constant de l'ordre de 0,2 m. Le graphique ci-dessous représente les mesures de marée du 30 mars 2022. En orange la mesure combinée de marée par marégraphe au port d'Herbaudière + modèle harmonique, en bleu la mesure de la marée RTK et en vert l'écart entre les deux marées. On observe que l'écart de hauteur d'eau entre les deux marées est compris entre 0,2 m et 0,3 m.

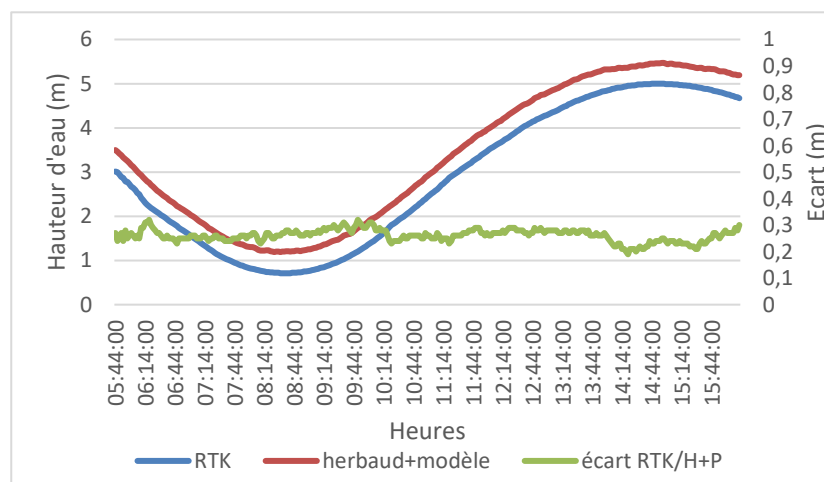


Figure 14: Graphique de comparaison de mesures de marée le 30/03/2022

Avec les données de bathymétrie de la mission d’Avril 2022, j’ai réalisé deux MNT, un avec une correction de marée RTK (figure 15) et un avec une correction de marée combinée du marégraphe du port et du modèle harmonique (figure 16), pour déterminer lequel des deux présentes le moins d’erreurs. Sur chaque MNT une correction égale de roulis et d’ondulation ont été appliqués et pour le MNT marégraphe du port + modèle harmonique, une correction de Tirant d’eau a été appliquée. Je n’ai pas appliqué de correction de célérité.

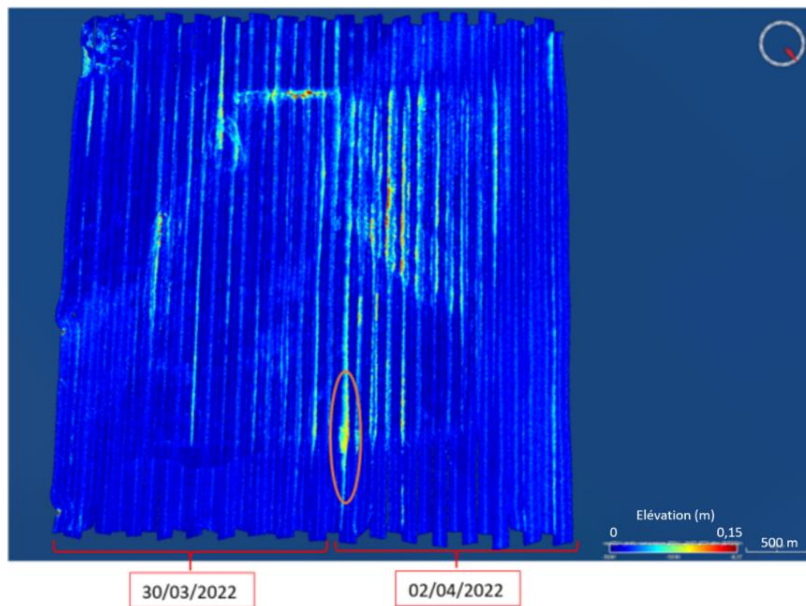


Figure 15: Capture d’écran du MNT (couche STDEV) avec correction de mesure RTK

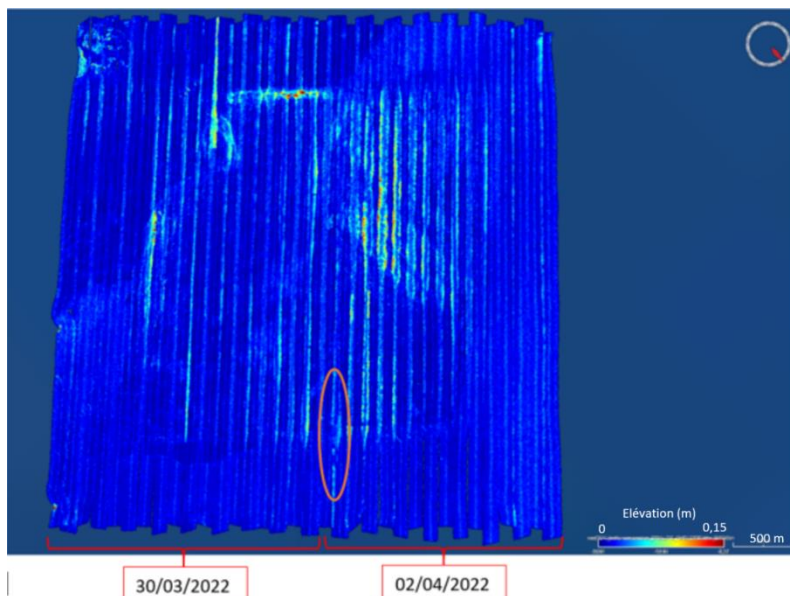


Figure 16 : Capture d’écran du MNT (couche STDEV) avec correction de mesure combinée du marégraphe du port + du modèle harmonique du SHOM

Les couches des écarts types pour les deux MNT sont comparées : elles soulignent en particulier les écarts de données dans les zones de recouvrement de profil. Cet écart peut provenir d’une imprécision de la correction de marée.

Pour les couches STDEV, plus l'écart type est faible plus la couleur tend vers le bleu (valeur nulle), plus l'écart type est élevé plus la couleur tend vers le rouge (0,15 cm). Beaucoup d'erreurs sont observables car la correction de célérité n'est pas encore appliquée. On observe tout de même plus de défaut sur le MNT traité avec la marée RTK, par exemple dans la zone entourée d'un cercle rouge. Les profils où les erreurs sont observables correspondent à la journée du 02/04/2022. Pour la journée du 30/03/2022 les couches d'écart type des deux MNT sont quasi similaires.

En observant les graphiques de marée réalisés sur Excel, on remarque, pour la journée du 30/03/2022 (figure 14), que le décalage entre la marée RTK et la marée marégraphe + modèle harmonique est globalement peu variables (données comprises entre 0,2m et 0,3 m) contrairement à la journée du 02/04/2022 (figure 17) où l'écart entre les deux marées varie plus nettement (données comprises entre 0,2m et 0,5m). Notamment en début de journée, entre 4h30 et 7h et une zone d'erreur observée sur le MNT (entourée en rouge, figures 15, 16 et 17) correspond à cette plage horaire.

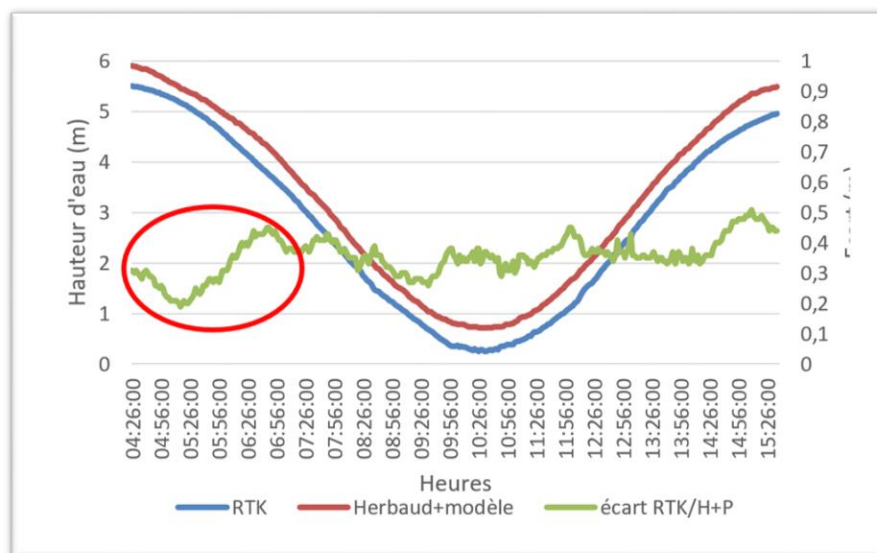


Figure 17: Graphique de comparaison de mesures de marée le 02/04/2002

Une des différences entre la journée du 2 avril et celle du 30 mars sont les conditions météorologiques. La journée du 02, la météo était mauvaise (d'après le carnet de bord) ce qui a pu dégrader la mesure de marée RTK. Nous avons discuté de nos observations avec des techniciens de GENAVIR traitent les données GPS pour obtenir la marée RTK. La conclusion est que nos hypothèses sont possibles mais qu'on parle d'erreur de l'ordre du centimètre ou décimètre, qui reste tout de même faible et donc très difficile à corriger. Par contre pour les chercheurs cette erreur décimétrique est très importante surtout dans le contexte de la mission, où l'objectif est d'observer l'évolution morphologique d'une zone.

## V.6. Conclusion

La méthode de correction de célérité la plus fiable serait de réaliser une répétition de correction plus importante qui suit les variations de la célérité. Dans la zone de travail de la campagne RESISTE, la célérité varie beaucoup dans la colonne d'eau (estuaire de la Loire très proche). L'onde du sondeur multifaisceaux traverse toute la colonne d'eau. Les données de températures des sondes Sippican sont des données en un point et les données du célérimètre de coque sont des données de surface. Donc nous ne disposons pas de toutes les informations nécessaires pour déterminer des corrections de célérité représentatives de toute la colonne d'eau. Pour améliorer encore la correction spatiale et temporelle de célérité, il faudrait plus de données et de toute la colonne d'eau.

Pour la marée, la méthode de mesure de marée la plus fiable pour le traitement des données est la mesure combinée de marée marégraphe du port le plus proche et modèle harmonique du SHOM car les erreurs sont moindres. On peut recommander pour les prochaines campagnes RESISTE d'utiliser ces méthodes de traitement de données. Des améliorations des appareils de mesures seraient intéressantes pour avoir de meilleures résolutions.

# VI. Campagne GEOSTBRIEUC

## VI.1. Contexte de la mission

La campagne océanographique GEOSTBRIEUC-2 est encadrée par David Menier, enseignant-chercheur en Géosciences Marines à la faculté de Vannes (Université de Bretagne Sud) et qui fait partie de l'unité mixte de recherche Géo-Océan. Il étudie les transferts on-shore / off-shore de 0m à 50m de la côte et s'intéresse particulièrement à l'architecture de sédimentation des baies (les comblements, les déplacements, les provenances de stocks de sable des plages ...).

La campagne à laquelle j'ai participé, GEOSTBRIEUC-2, s'est déroulée en avril/mai 2022. Elle fait suite à une première campagne sur la même zone en 2018. Les données des deux campagnes sont complémentaires et permettent l'étude d'évolutions morphologiques et sédimentaires dans la baie de Saint-Brieuc.

## VI.2. Mission en Mer

### VI.2.1 Déroulement de la mission

La mission s'est déroulée du 29 avril au 10 mai 2022, le port d'embarquement est Saint-Quay-Portrieux. La campagne se déroule à bord de la N/O Thalia, navire côtier de la flotte océanographique française. Le chef de mission est David Menier.

## VI.2.2 Equipement

A bord du bateau, plusieurs équipements permettent l'acquisition de données (plus d'information en annexe 2) :

- Comme pour la mission RESISTE, on retrouve le container d'acquisition Bassop, le sondeur multifaisceaux EM2040, le sonar latéral Klein 3000, les sondes Sippican, le célérimètre de coque et le marégraphe.
- Le Sparker, également installé, qui est un équipement sismique et qui permet d'avoir des informations du sous-sol.

## VI.2.3 Travail

J'ai embarqué du 08 au 11 mai 2022. En mer, mon travail a été de :

- Créer quotidiennement une carte de navigation avec les prévisions de profils à réaliser pour la donner au commandant du bateau, informer les coordonnées de début et de fin pour chaque profil.
- Vérifier et valider les données obtenues en temps quasi-réel, en réalisant des MNT avec les données brutes.
- Commencer le traitement des données.

L'acquisition des données est encadrée par des techniciens de GENAVIR qui sont également chargés de la mobilisation et de la démobilisation. L'acquisition se fait uniquement dans le container Bassop.

J'ai participé à la mise en œuvre des équipements : récupération du sonar et sparker à chaque fon de journée d'acquisition, tirs de sonde Sippican et démobilisation à la fin de la campagne.

Le contrôle des données à bord montre que celles-ci sont globalement de bonne qualité, en particulier grâce à des conditions météorologiques favorables (ciel bleu, mer calme).

## VI.3. Objectifs

Des données de différentes natures ont été collectées lors de la campagne GEOSTBRIEUC-2. Comme pour la campagne RESISTE, l'objectif est de comparer des données bathymétriques et morphologiques sur des profils communs aux deux missions (2018 et 2022). Les rôles qui m'ont été confiés sont :

- Le traitement de données bathymétriques et sonar pour obtenir des différentiels et des imageries du fond
- L'interprétation préliminaire des données traitées dans le but d'identifier d'éventuelles évolutions morphologiques et les placer dans le contexte géologique et hydrodynamique.



## VI.4. Traitement des données

Plusieurs jeux de données différentes ont dû être traités, les données bathymétriques, sonar et la création de couches dans QGIS pour permettre l'interprétation.

### VI.4.1 Traitement de données bathymétriques

Le traitement des données bathymétrique se fait de manière similaire à ce qui a été présenté pour les données de la campagne RESISTE. Le logiciel GLOBE est celui qu'on utilise.

- Chaîne de traitements :

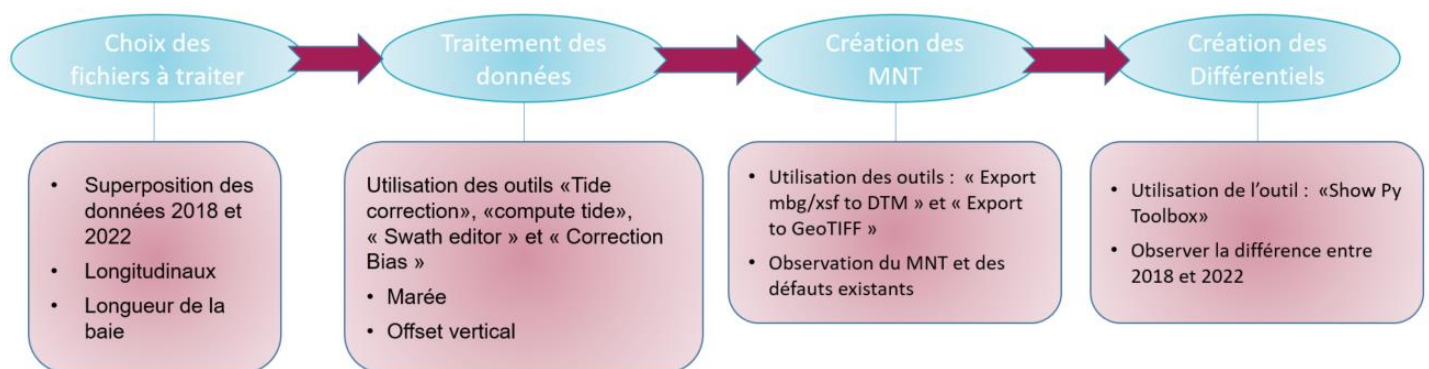


Figure 18: Chaîne de traitement Bathymétrique dans GLOBE - mission GEOSTBRIEUC-2

- Choix des profils à traiter :

De nombreux profils ont été faits lors des missions 2018 et 2022 et les profils réalisés en 2018 ne sont pas tous géo-localisé au même endroit que ceux réalisés en 2022. La première étape est de choisir des profils de 2018 et de 2022 qui se superposent pour permettre ainsi d'observer d'éventuels variations par l'étude de différentiels.

En superposant les profils des deux années, on remarque que les données de 2022 comblent le vide des données de 2018 (figure 19) et quelques profils seulement se superposent. David Menier souhaitait analyser des profils longitudinaux le long de la baie. Les profils finalement sélectionnés sont indiqués par les pointillés jaunes sur la carte.

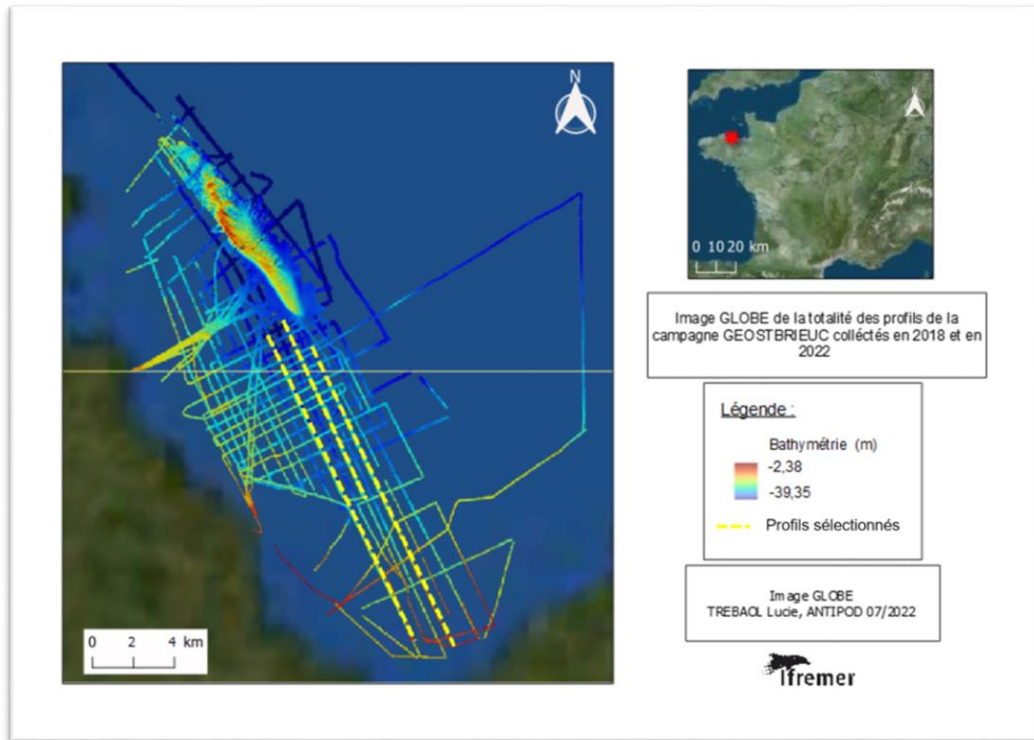


Figure 19: Carte des profils faits lors des missions 2018 et 2022

Ci-dessous une carte des 3 traversées longitudinales sélectionnées (figure 20) :

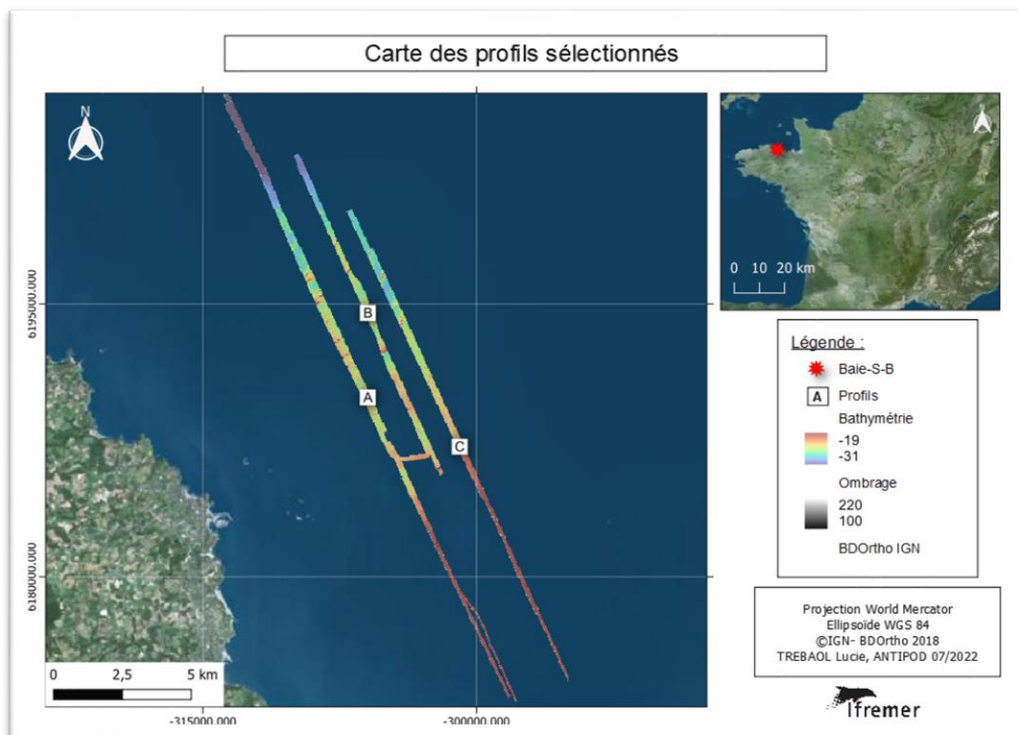


Figure 20 : Carte des profils sélectionnés pour l'étude

- Correction de marée :

Les données sélectionnées sont traitées. Le premier traitement réalisé est la correction de marée pour harmoniser la référence verticale.

Par expérience de l'application de la marée aux données de la mission RESISTE, j'ai voulu appliquer une correction de marée combinée du marégraphe d'un port et du modèle harmonique du SHOM. Toutefois, cette méthode n'est pas possible car le marégraphe du port de Saint-Quay Portrieux (port le plus proche) n'a été installé qu'en octobre 2018 donc après la mission de 2018. Les fichiers sont donc corrigés par une mesure de marée RTK disponible pour les deux campagnes.

- Correction d'offset vertical :

Une fois les MNT exportés, un décalage de hauteur (axe Z) est observé entre les profils 2018 (en orange sur le graphique figure 21) et 2022 (en bleu sur le graphique figure 21). En comparant la hauteur entre les deux profils on constate que les données 2018 sont au-dessus des données 2022.

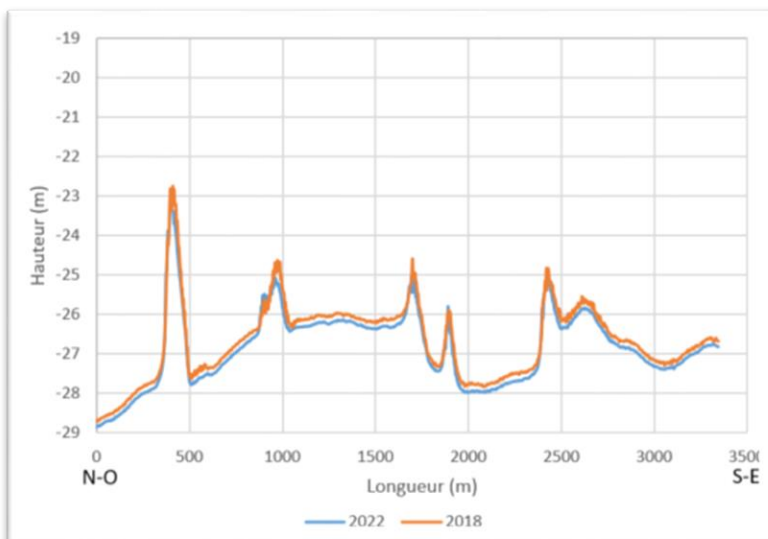


Figure 21: Graphique d'une coupe MN, comparaison de la hauteur du niveau du sol entre 2018 et 2022, zone sableuse

Moyenne de la différence	0,18
Ecart type de la différence	0,11
Coefficient de Corrélation (101 valeurs)	0,99

Tableau 3: Tableau des calculs effectués

Pour vérifier si ce décalage est le résultat d'une érosion sédimentaire de la zone, j'ai analysé la hauteur de deux profils (2018 et 2022) d'une zone rocheuse (figure 22). Si l'érosion est la cause de l'écart entre deux profils, le décalage ne devrait pas exister dans la zone rocheuse.

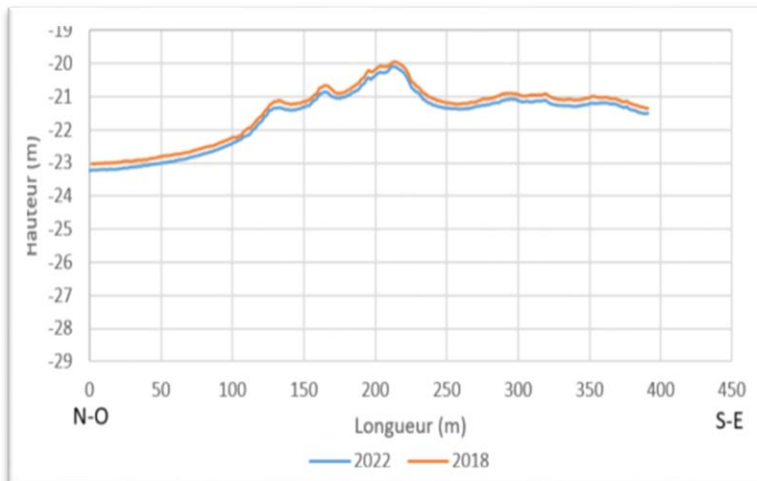


Figure 22: Graphique d'une coupe MNT, comparaison de la hauteur du niveau du sol entre 2018 et 2022, zone rocheuse

Moyenne de la différence	0,18
Ecart type de la différence	0,11
Coefficient de Corrélation (26 valeurs)	0,99

Tableau 4: Tableau des calculs effectués

Le graphique (figure 22) montre que les données 2018 reste au dessus des données 2022. La moyenne d'écart est de 0,18m et l'écart type est de 0,11m, tout comme les valeurs trouvées dans la zone sableuse (tableaux 3 et 4). La corrélation entre les deux courbes est également la même. Ces données nous confortent dans l'idée que ce décalage serait du à des erreurs de mesures.

On considère le décalage comme un biais pour la suite. L'erreur peut être due à plusieurs paramètres de mesures (méthode de prélèvement des données, défaut d'appareil, défaut de traitement...). Cette interprétation du décalage est cohérente avec les observations du graphique (figure 21, tableau 3):

- la morphologie évolue peu entre les deux années (coefficient de corrélation des deux courbes est de 0,99, proche de 1), la relation linéaire des deux courbes est positive et forte entre les variables.
- le décalage entre les deux années est constant (en moyenne 0,18m avec un écart type faible de 0,11 m).

Le biais est corrigé dans GLOBE, les données 2018 sont recalées aux données 2022. Ce choix n'a pas d'influence sur les calculs et l'analyse de différentiels que nous faisons ensuite. Pour corriger ce biais, une correction manuelle de mesure d'offset vertical est appliquée aux données. Les fichiers (.cor) de correction de biais sont faits dans le « Swath Editor » puis avec l'outil « Bias Correction » le fichier de correction sont appliqués aux fichiers de données (.mbg). La correction d'offset vertical varie entre 0.1m et 0.2m.

Tout de même, l'idée d'une érosion dans la zone n'est pas à écarter complètement. Nous n'avons qu'un seule exemple de zone rocheuse. Pour valider cette observation il faudrait plus de données.

- Création de MNT et différentiels :

Des MNT sont générés sur des zones de dunes situées le long des profils longitudinaux. La soustraction des MNT de 2018 et de 2022 créé un MNT de différentiel bathymétrique. On calcule systématiquement « 2022 » - « 2018 ». Les différentiels sont ensuite exportés dans les logiciels de SIG pour l'interprétation.

### VI.4.2 Traitement de données sonar

Le traitement des données d'imagerie sonar se fait avec le logiciel Sonarscope. Les données d'imagerie Sonar seront complémentaires des données de bathymétrie.

- Chaîne de traitements :

Tous les traitements se font à partir des fichiers bruts d'acquisition (.sdf).

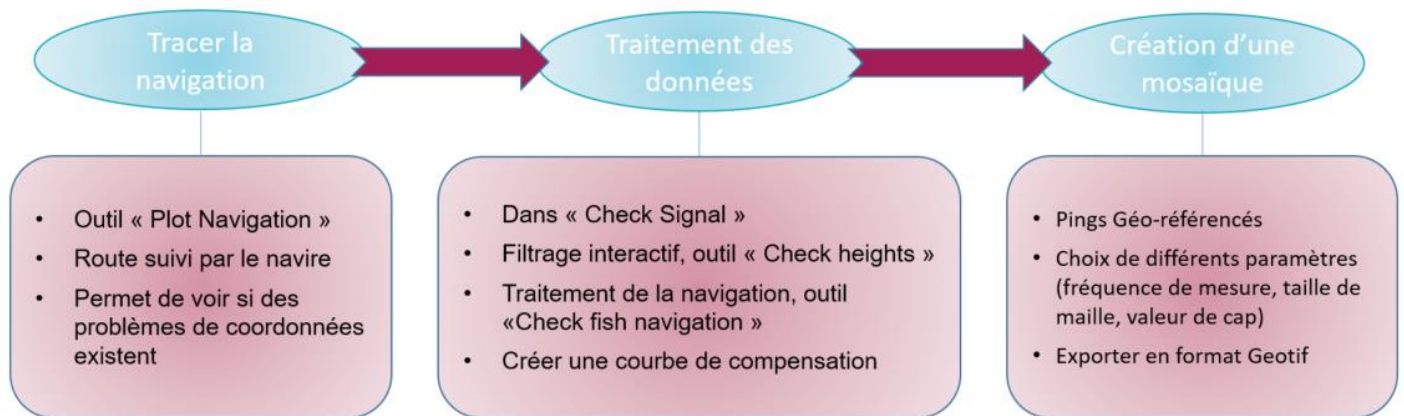


Figure 23: Chaîne de traitement sonar dans Sonarscope

- Filtrage interactif :

Le filtrage interactif permet de déterminer la bonne hauteur d'eau de référence sous le sonar. Une fenêtre s'ouvre en présentant le tracé de la donnée sonar sur le fond (figure 25). Dans l'image de gauche, la courbe bleue représente le signal de hauteur d'eau sous le sonar. L'image de droite reprend la même courbe et montre plusieurs sondes aberrantes qui sont à supprimer (figure 24). La suppression se fait de manière interactive dans le logiciel Sonarscope.

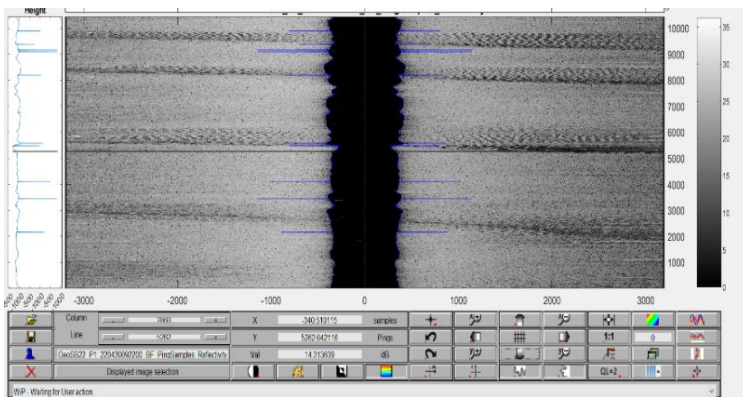


Figure 24: Capture d'écran, fenêtre Sonarscope, filtrage interactifs



Figure 25: Capture d'écran, fenêtre Sonarscope, courbe de hauteur d'eau

- Traitement de la navigation :

Une fenêtre s'ouvre et plusieurs graphiques s'affiche (figure 26). Les graphiques qui nous intéressent sont :

- Latitude / Longitudes = pour voir s'il n'y a pas de problèmes de positionnement dans les données.
- Immersion = varie entre 0m et 10m le plus souvent
- Cable Out = la longueur de câble filé, varie constamment
- Fish heading / Fish Nav Heading = Navigation du poisson, peut prendre en compte celle du bateau. Avec l'outil « filtrer data » faire une fréquence de coupure de 1/200<sup>ème</sup> pour lisser les courbes.

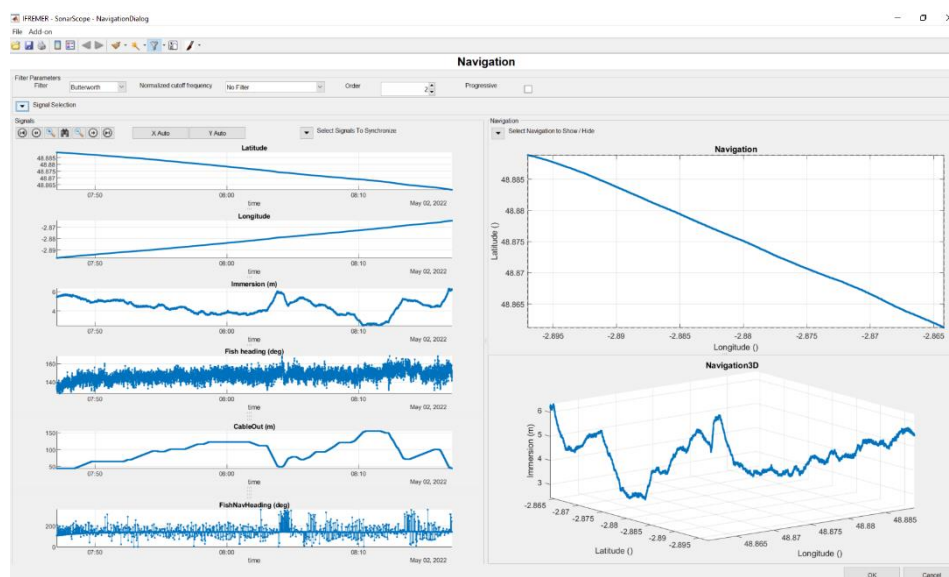


Figure 26: Capture d'écran, fenêtre Sonarscope, traitement de navigation

- Calcul de compensation :

L'objectif d'un calcul de compensation est de créer une courbe moyenne de réflectivité en fonction des angles. Pour cela il faut ouvrir un fichier, créer une couche « Transmission angle » dans le menu « sonar processing », deux couche s'affichent, une de réflectivité et une d'angle. Dans le menu « statistics », une fonction permet de réaliser le calcul de compensation entre la couche d'angle et de réflectivité pour créer une courbe.

- Création d'une mosaïque :

La mosaïque nous donne une imagerie des données traitées, les pings sont géo-référencés. Il faut choisir plusieurs critères pour créer une mosaïque :

- Quelle fréquence de mesure choisir, ou bien faire une mosaïque pour chaque fréquence de mesure (ici 132 kHz ou 445 kHz).
- La taille de la maille (ici 0,25m)
- La valeur de cap (ici celle de la navigation du poisson).
- Puis on applique ou non la courbe de compensation.

La mosaïque est ensuite exportée en format GeoTIFF pour l'ouvrir dans un logiciel de SIG afin qu'elle serve à l'interprétation.

### VI.4.3 Traitement dans QGIS

QGIS est un logiciel de SIG qui nous sert à l'interprétation des résultats. Plusieurs couches sont créées à partir des MNT en format GeoTIFF. Voici les couches que j'ai préparées pour l'analyse des données de la mission GEOSTBRIEUC-2 :

- **Des couches d'ombrages** avec un éclairage choisi, qui permettent de mieux visualiser les différences de reliefs, les objets sédimentaires. Il faut les placer sous le MNT à qui on applique un pourcentage de transparence. Il faut choisir l'orientation de l'éclairage et sa hauteur pour accentuer les structures qu'on veut analyser.
- **Des couches de pentes**, qui permettent de déterminer la présence de dunes, de déterminer l'emplacement de la crête des dunes pour différencier les deux côtés de la crête. La pente est exprimée en degré et représentée par un dégradé de couleur allant du bleu (0°) au rouge (10°).
- **Des couches d'exposition**, qui permet de déterminer la limite entre les flans Est et Ouest. L'exposition est exprimée en degré et représentée par un dégradé de gris, un coté de la dune sera sombre et l'autre sera éclairé.
- **Les coupes topographiques** permettent d'observer des déplacements entre 2018 et 2022. Elles sont créées par l'outil « Terrain profil ». Les données sont ensuite exportées dans Excel pour faire des graphiques.

QGIS sert également à superposer plusieurs informations, toutes nos données traitées sont exportées en format GeoTIFF pour être ouvertes dans QGIS et comparées entre elles. Les cartes utilisées pour présenter les résultats sont également réalisées sur QGIS.

## VI.5. Analyse préliminaire

Pour l'interprétation des résultats, j'ai choisi de me focaliser sur deux zones en particulier. Ce sont les zones les plus intéressantes car ce sont celles où on observe le plus de décalage. Elles se situent dans la partie supérieure du profil A et B. Les parties inférieures A et B et le profil C ne présentent pas de décalage significatif pour être étudié à ce stade.

### VI.5.1 Description de la zone

#### Contexte hydrodynamique :

- Marée

Saint-Brieuc est située dans une zone de cycle de marée semi-diurne, deux pleines mers et deux basses mers chaque jour. C'est également une zone macro tidale, l'amplitude de marée est importante. Le marnage est de 4 mètres en morte-eau et 13 mètres en vive-eau, avec un marnage moyen de 6,5m. La baie de Saint-Brieuc est la cinquième baie du monde à avoir le plus fort marnage.

- Houle

La baie de Saint-Brieuc se situe dans une zone macro tidale (énoncé avant) donc principalement sous l'influence de la marée.

- Courant

Ce fort marnage entraîne un flux important dans la zone. La carte hydrodynamique (figure 27) de la baie de Saint-Brieuc (*AUGRIS C., HAMON D. (coordinateurs) et al. (1996)*) nous donne des informations sur le courant de la zone. Les courants de jusant (marée descendante) longent la côte ouest et ont une vitesse comprise entre 3 cm/s et 6 cm/s. Le courant est plus important dans la zone supérieure des profils A et B.



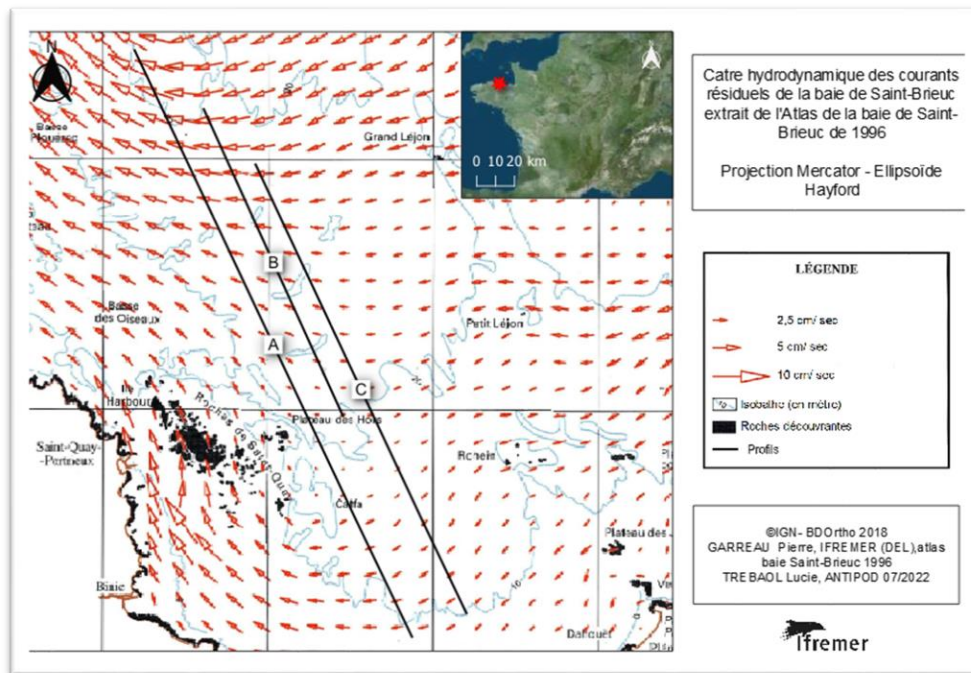


Figure 27: Carte des courants de la baie de Saint-Brieuc

Contexte géologique :

- Carte de nature sédimentaire

La carte de la représentation des sédiments superficiels est également extraite de l'atlas de l'environnement marin de la baie de Saint-Brieuc datant de 1996 (AUGRIS C., HAMON D. (coordinateurs) et al. (1996)), légende complète en annexe 5. En la superposant à la carte des courants et en ajoutant mes profils de données (figure 29), on constate que nos zones d'études sont principalement des zones de sables moyens et grossiers (profil A) et sable moyen compris entre 0,2 et 1 mm (profil B). Ce sont des zones à fort courants (3 à 6 cm/s), En se référant au diagramme d'Hjuström (figure 28) qui modélise les conditions de mise en mouvement des sédiments, seulement les objets sableux compris entre 0,1 et 1 mm peuvent sédimenter.

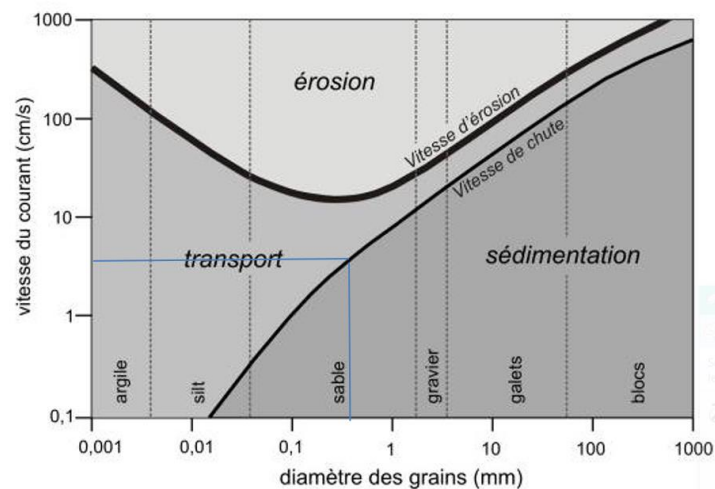


Figure 28: Diagramme Hjuström (thèse de Marion JAUD)

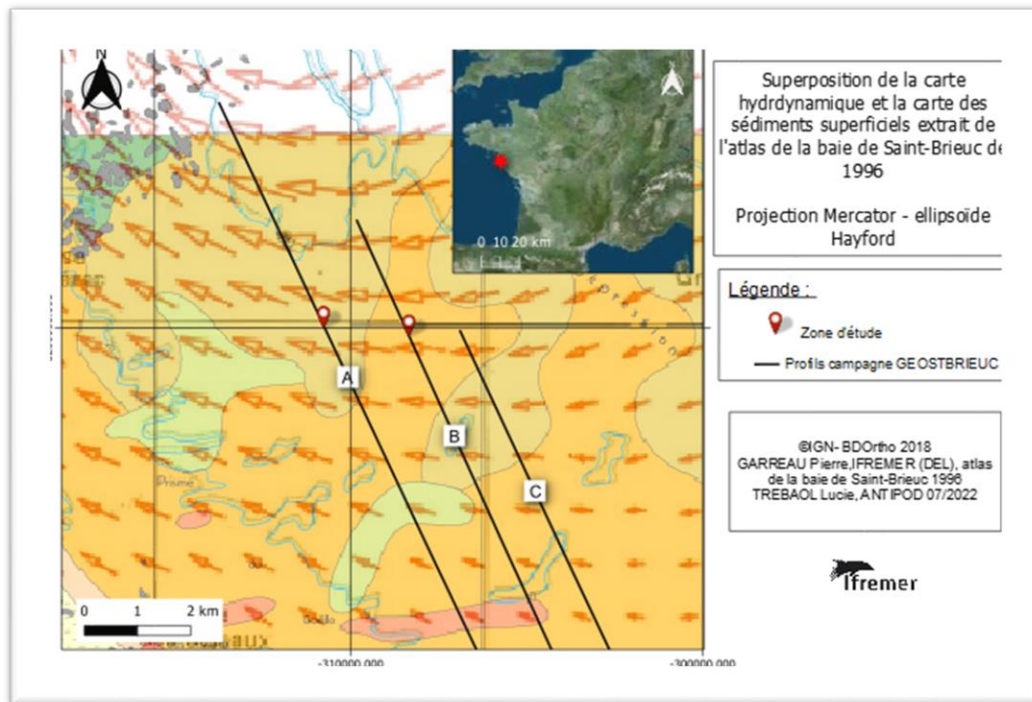


Figure 29: Carte des figures sédimentaires de la baie de Saint-Brieuc

Carte des figures sédimentaires :

La carte ci-dessous (figure 30), représentant les différentes figures sédimentaires de la baie de Saint Brieuc (AUGRIS C., HAMON D. (coordinateurs) et al. (1996)). Dans notre zone d'étude se sont les crêtes de vagues de sable qu'on va observer.

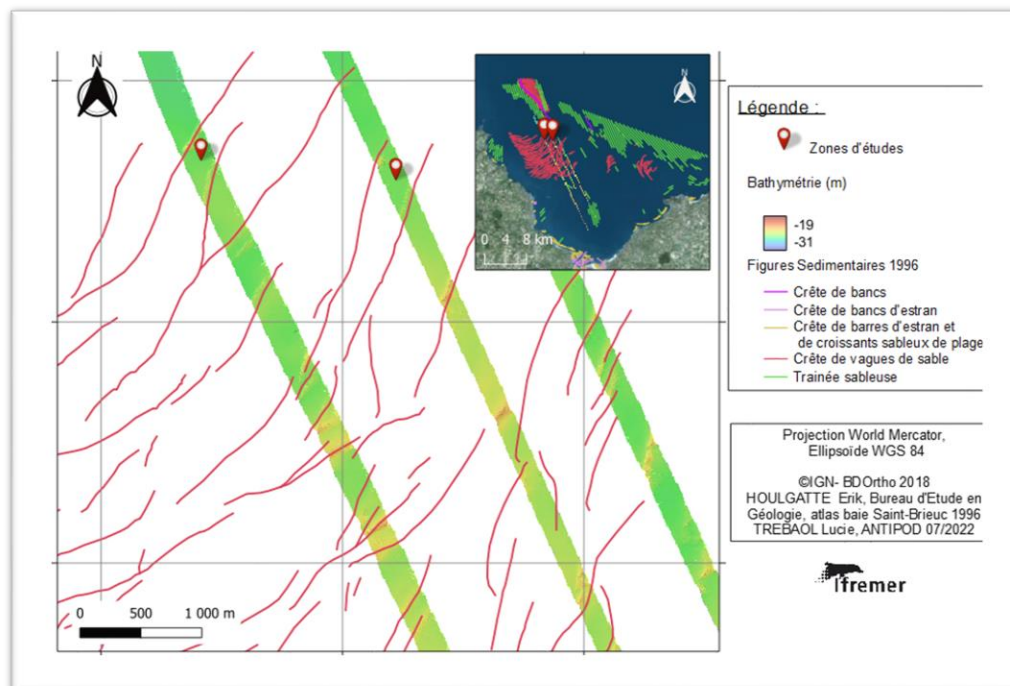
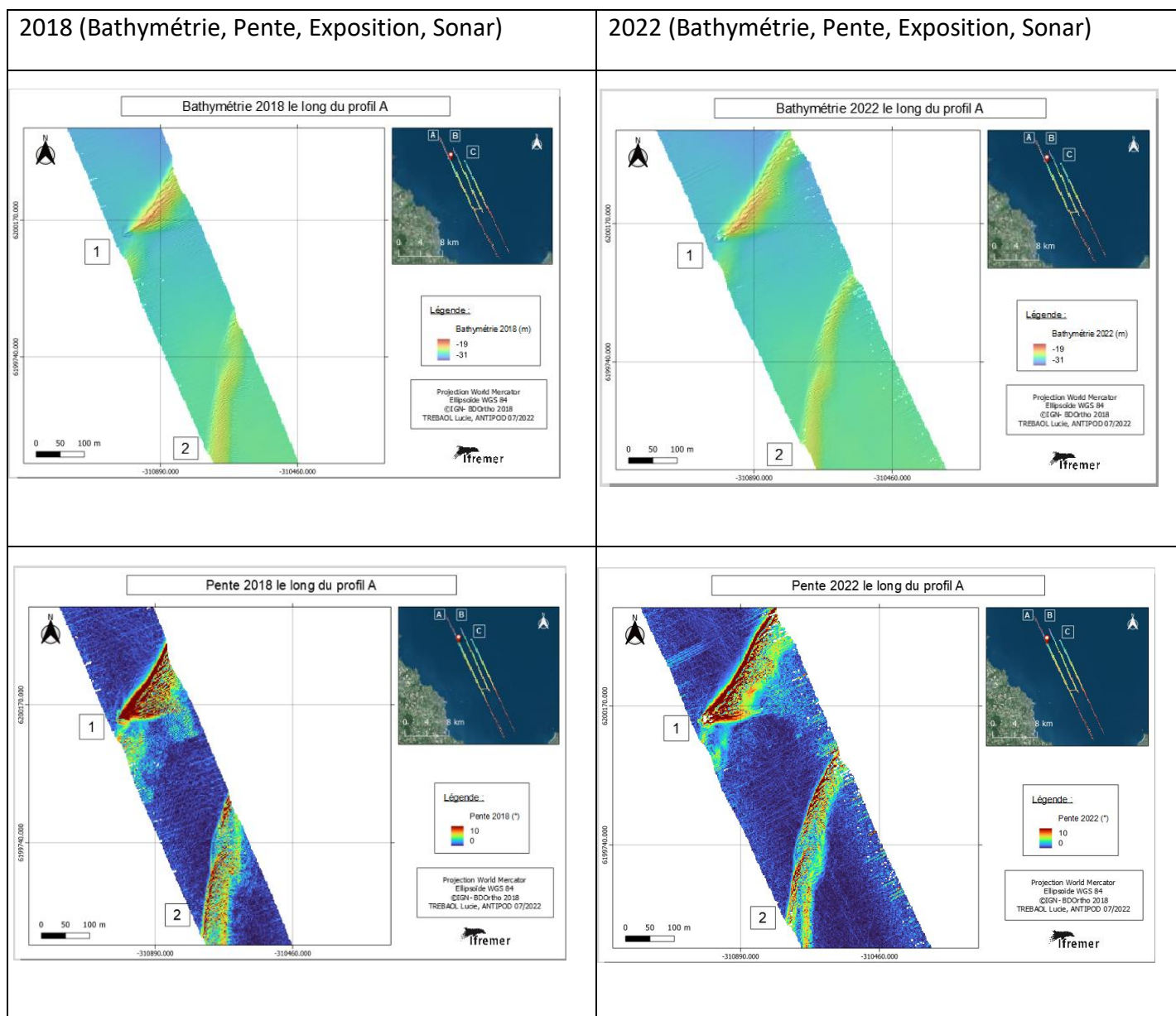


Figure 30: Carte des courants superposé à celles des sédiments superficiels de la baie de Saint-Brieuc

## VI.5.2 Données

Les données sont affichées sous forme de tableaux (tableaux 5 et 6), un par profil (profils A et B). Dans chaque tableau on présente dans la colonne de gauche les données de 2018 et dans la colonne de droite les données de 2022.

- Zones du profil A



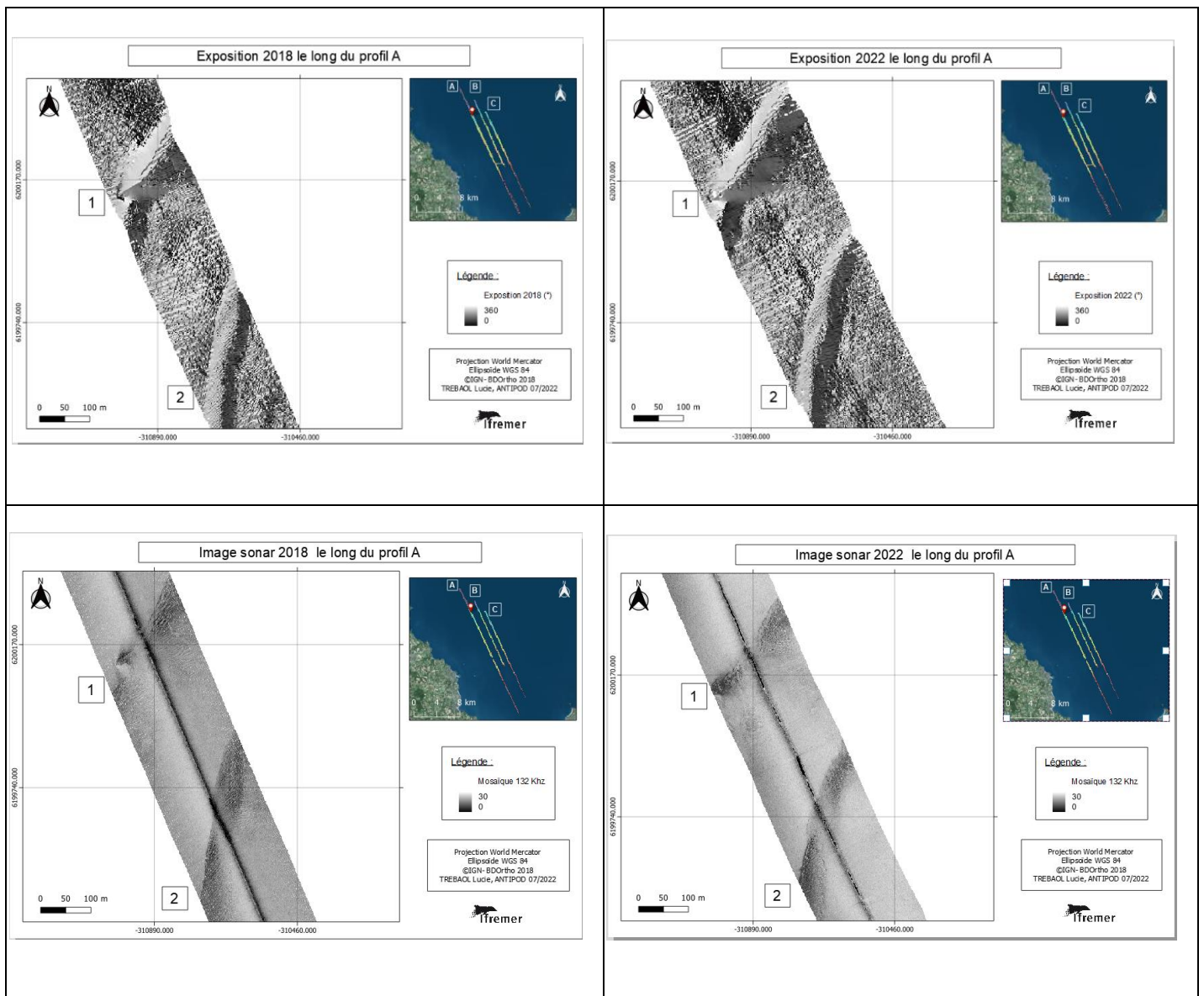


Tableau 5: Tableau des cartes de bathymétrie, pente, exposition et imagerie sonar de la zone d'étude du profil A

Les observations pour les deux objets sont similaires :

Les cartes des pentes indiquent qu'il y a bien deux objets sédimentaires avec de fortes pentes. Les deux objets ont deux pentes différentes, une pente forte au nord-ouest (zone rouge) plus marquée pour l'objet 1 et une pente moins forte et plus étalée sud-est (zone rouge et verte). Au Nord-Ouest, la pente de manière continue peut aller jusqu'à 20° tandis qu'au Sud-Est, la pente moyenne est inférieure à 10°.

Les cartes d'expositions indiquent la limite entre le flanc Est et le flanc Ouest. La pente forte correspond au côté clair et lisse et la pente faible et étalée correspond au côté sombre et ondulé.

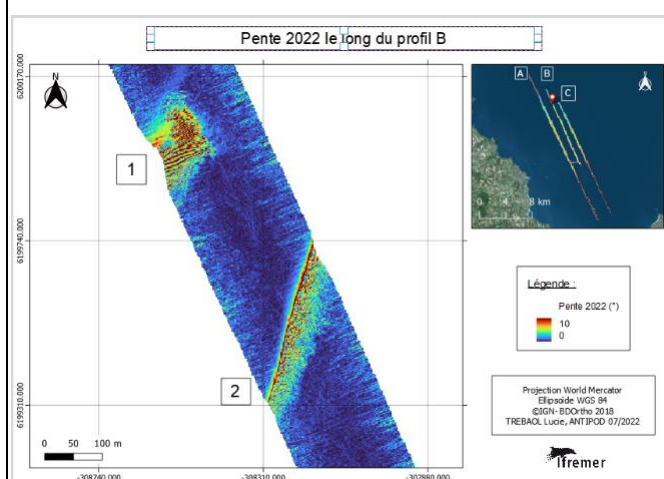
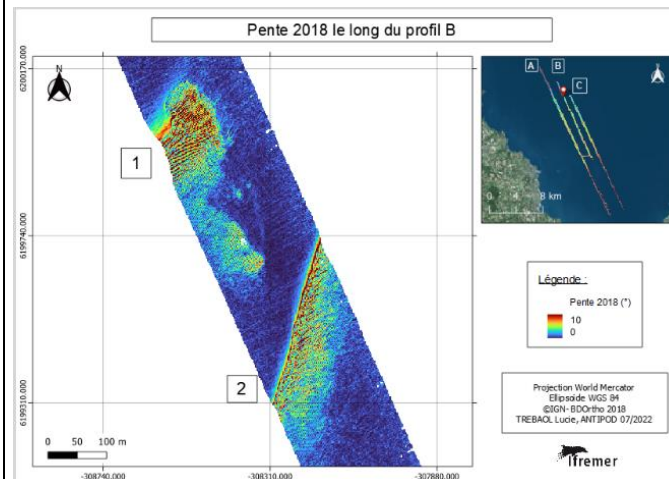
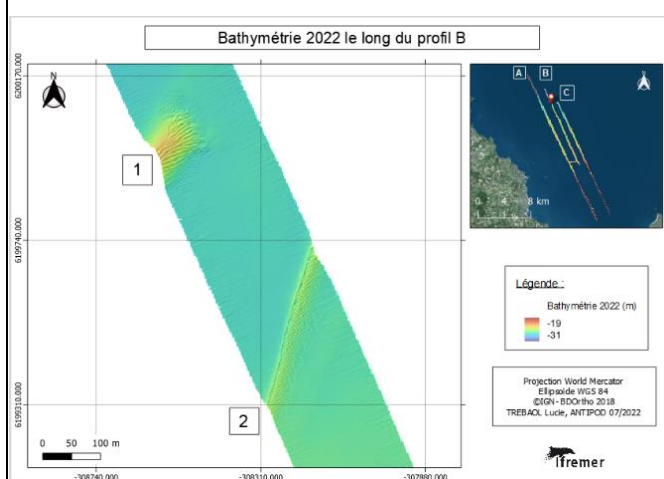
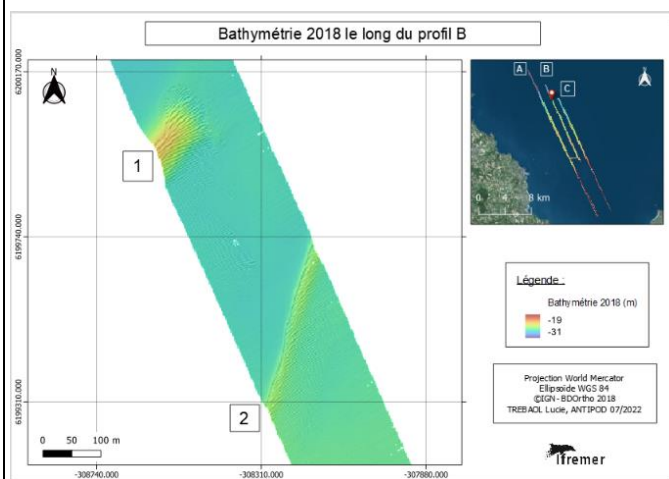
L'imagerie sonar confirme l'observation d'ondulations qui correspondent à des mini- rides.

Entre 2018 et 2022, les différences observées ne sont pas assez significatives pour être facilement visibles à l'échelle de ces cartes ; les études de différentiels et les coupes de hauteur présentées plus tard sont plus parlantes.

- Zone du profil B

2018 (Bathymétrie, Pente, Exposition, Sonar)

2022 (Bathymétrie, Pente, Exposition, Sonar)



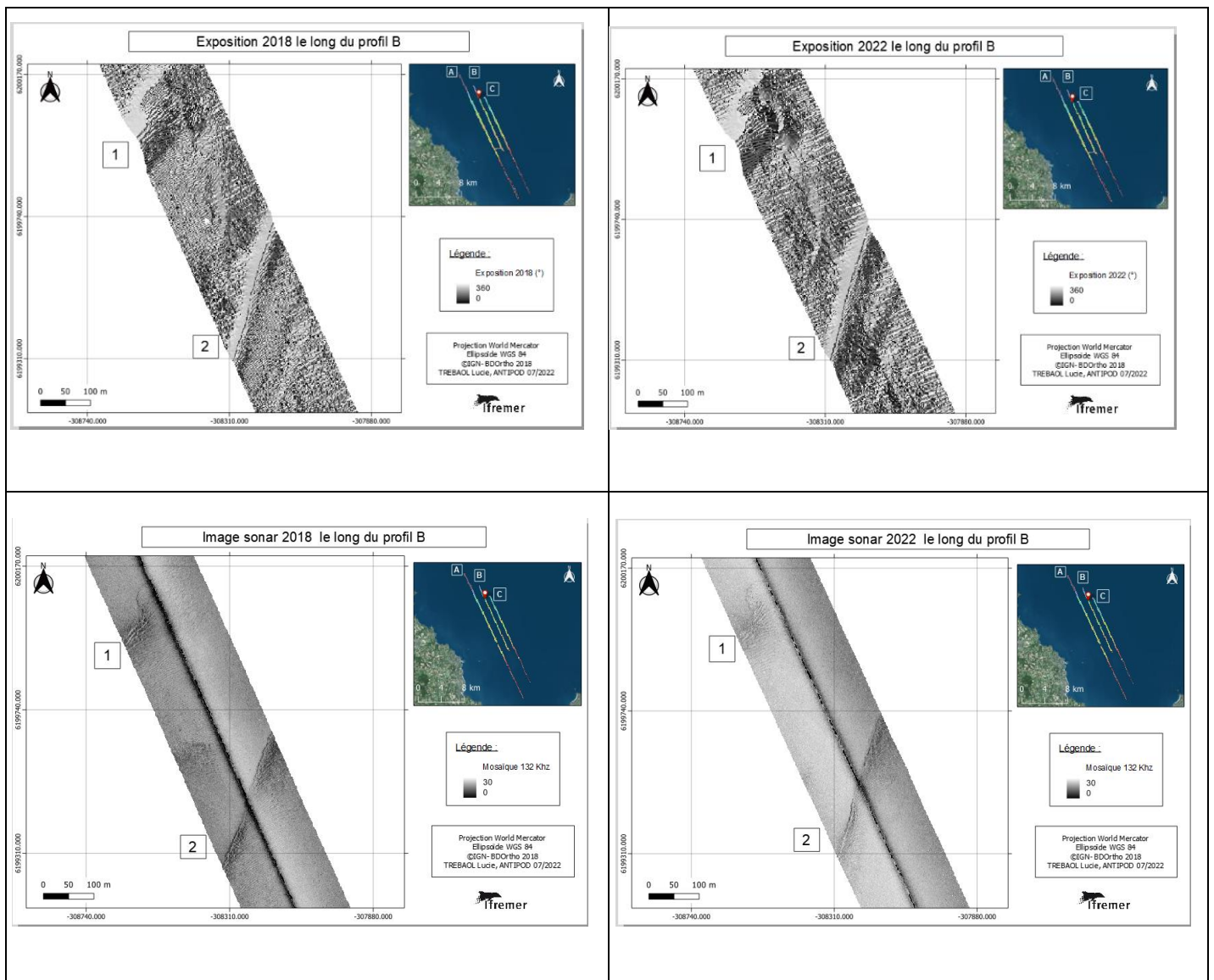


Tableau 6: Tableau des cartes de Bathymétrie, pente, exposition et imagerie sonar de la zone d'étude du profil B

Pour le profil B, les objets sont moins marqués que ceux du profil A.

L'objet 1 est plus étalé et ses ondulations au S-E de la crête sont plus marqués. L'objet 2 est similaire aux objets du profil A, un des coté à une forte pente et est lisse. L'autre côté a une faible pente plus étalé et ondulé de mini-rides. La pente forte atteint au maximum 15° sur les deux crêtes du profil B.

Entre 2018 et 2022 on constate que les objets se sont affinés, on observe moins de mini-rides coté S-E.

En comparant ces données avec le contexte de la zone décrit précédemment :

- Le courant général est plus fort dans la zone du profil A que dans la zone du profil B, ce qui peut expliquer que les objets du profil A sont plus imposants et plus marqué avec des pentes plus fortes et des tailles plus importantes. Le courant est plus fort donc les sédiments déplacés dans cette zone sont plus grossiers (cf. figure ... des sédiments superficiels) donc les objets sont plus importants.
- On observe bien des crêtes de vagues de sables comme indiqué dans la carte des figures sédimentaires (figure 30).

## VI.6. Comparaison

- Zone du profil A

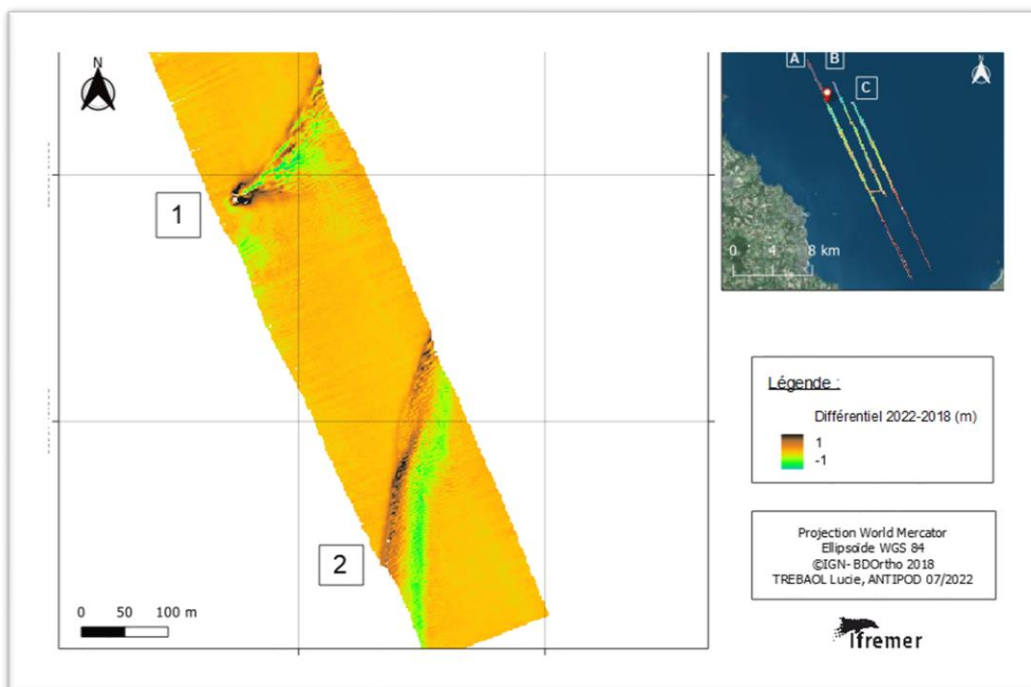


Figure 31: Carte du différentiel (2022-2018) le long du profil A

En observant le différentiel de la zone d'étude du profil A (figure 31), on remarque une forte évolution entre 2018 et 2022. La zone verte indique une différence négative donc une zone comblée en 2018 qui ne l'est plus en 2022. La zone noire indique une différence positive donc une zone comblée en 2022 qui ne l'était pas en 2018.

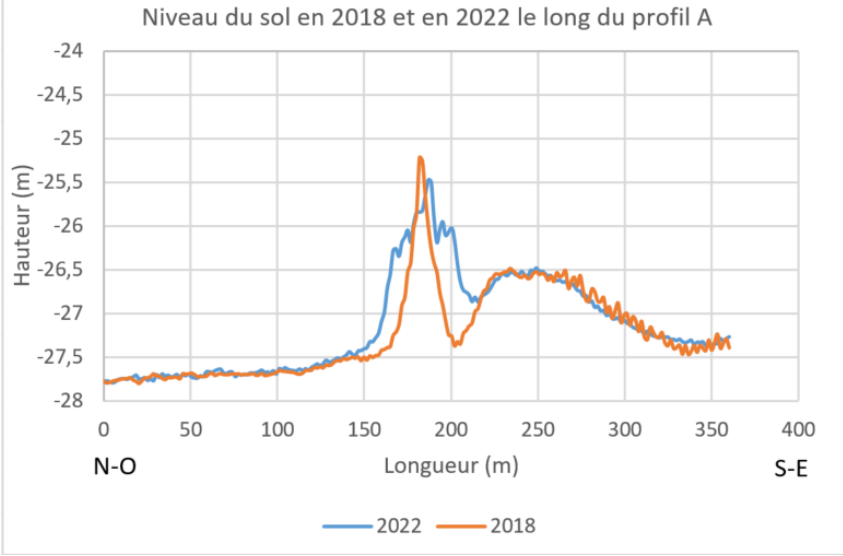
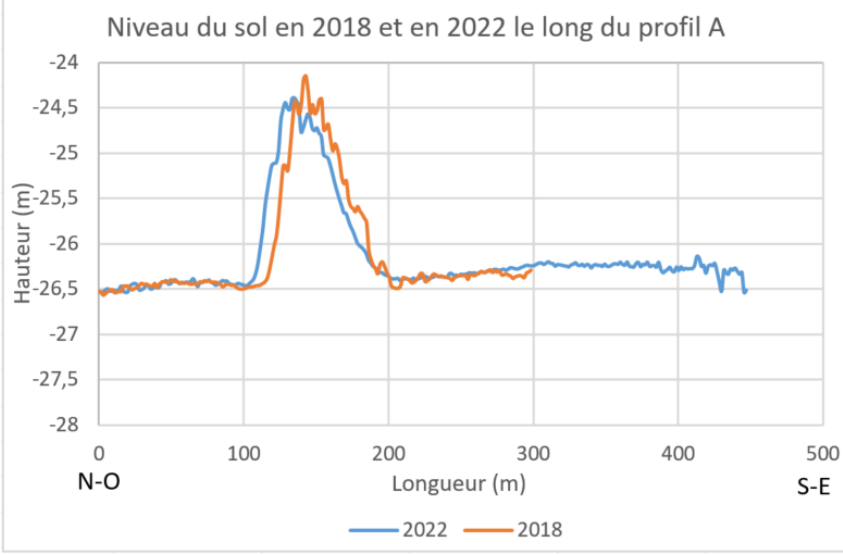
<p>Coupe figure sédimentaire 1</p>	
<p>Coupe figure sédimentaire 2</p>	

Tableau 7 : Tableau des coupes du niveau du sol des MNT 2018 et 2022 le long du profil A

Les graphiques du tableau 7 sont des coupes des MNT de 2018 (orange) et 2022 (bleu) qui nous donne des informations sur la profondeur du sol le long de la coupe. Ces graphiques confirment les observations faites sur le différentiel.

Pour l'objet 1, il s'est élargi en 2022. A mi-hauteur de la crête (-26,5 m), le pic de 2018 (orange) mesure 15 m de large et le pic de 2022 (bleu) mesure 38 m de large. Donc à 4 ans d'intervalles le pic s'est élargie de 23 m.

Pour l'objet 2, il s'est déplacé vers le NO en 2022. A mi-hauteur de la crête (-25,5 m) la pente Nord-Ouest se situe en 2018 à 126 m du début de la coupe et en 2022 à 116 m. A 4 ans d'intervalles, la crête s'est déplacée de 10 m vers le Nord-Ouest.



- Zone du profil B

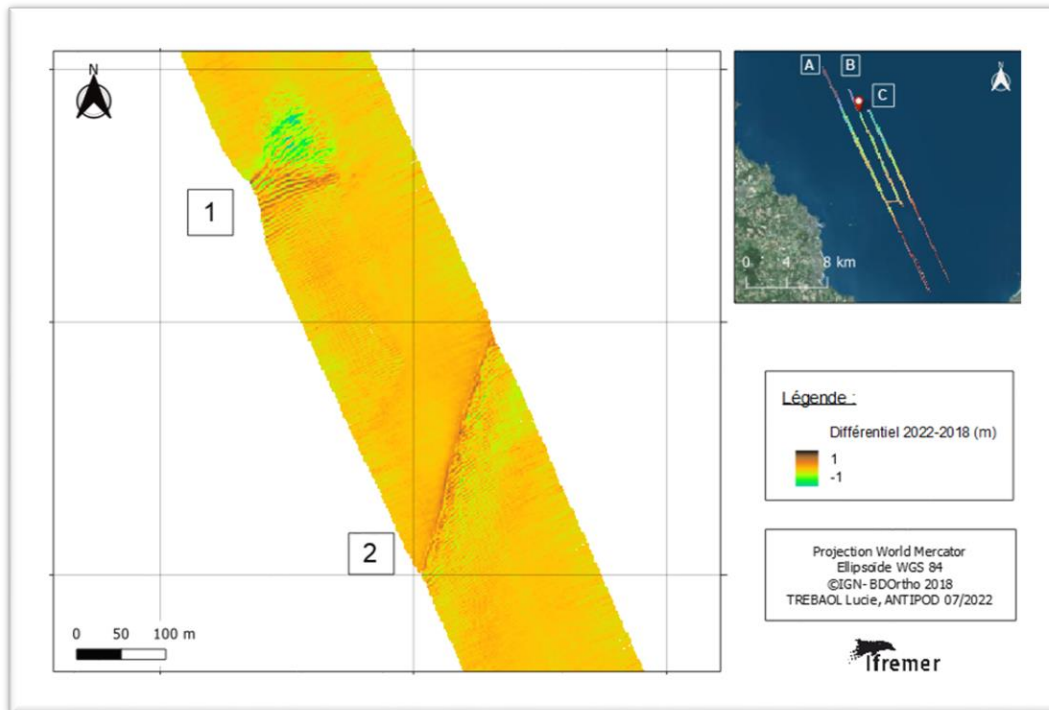


Figure 32: Carte du différentiel (2022-2018) le long du profil B

Le différentiel de la zone d'étude du profil B (figure 32) présente moins de différence entre 2018 et 2022 (peu de gradation de couleur). Sur l'objet 1 une zone comblée en 2018 a disparu en 2022, on n'observe pas de décalage (absence de zone noire).

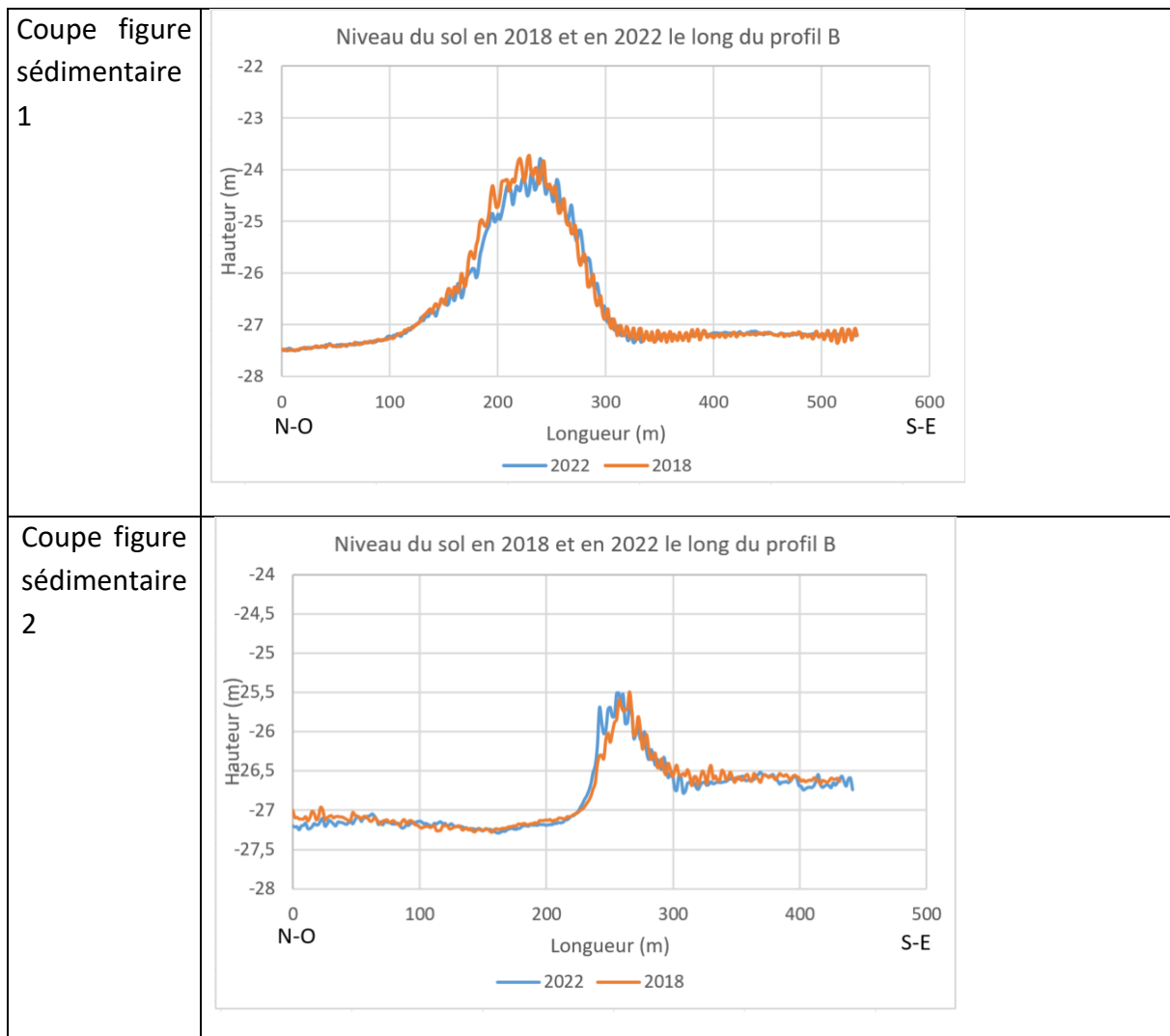


Tableau 8: Tableau des coupes du niveau du sol des MNT 2018 et 2022 le long du profil B

Les graphiques confirment les observations du différentiel, aucun déplacement n'est constaté.

## VI.7 Conclusion

En prenant en compte les erreurs de mesures, les études faites pour la campagne GEOSTBRIEUC-2 montrent globalement que les crêtes sédimentaires asymétriques sont identiques entre 2018 et 2022 mais un déplacement vers le Nord-Ouest est observable. Il s'agit d'observation sur un nombre limité d'exemple : pour confirmer ce déplacement et mieux comprendre la dynamique de la zone, d'autres campagnes doivent être réalisées pour récolter plus de données et avoir plus de matières à traiter et interpréter. La cartographie est très incomplète. Ou encore, les données de courant sont des données de surface, installer un ADCP à plusieurs endroits dans la zone permettrait d'avoir des données de courant du fond. Des révélés sédimentaires permettraient d'avoir des informations récentes sur la granulométrie et le type de sédiments de la zone d'étude car les informations sédimentaires disponible pour l'étude datent de 1962.

## VII. Conclusion générale

Ce stage à Ifremer m'a permis de participer à deux projets d'étude à long terme de deux zones différentes. Ces deux projets sont axés sur le devenir de ces zones, et visent à comprendre leurs dynamiques et à observer des changements à échelle de temps différents. Les résultats de mes traitements de marée et de célérité, sur la campagne RESISTE, vont permettre d'améliorer le traitement des données et obtenir une meilleure résolution pour avoir une interprétation plus poussée. Les traitements ainsi que les observations des données de la campagne GEOSTBRIEUC montrent des choses intéressantes et indiquent le besoin de plus de campagne d'études de la zone.

Lors du stage, j'ai pu améliorer mes compétences dans le traitement des données, me perfectionner sur la manipulation des logiciels GLOBE, Sonarscope et QGIS. L'interprétation des résultats pour la comparaison entre plusieurs campagnes a été très enrichissante ; elle m'a permis d'améliorer ma méthodologie et ma réflexion. Pour les deux missions, la quantité de données et les nombreux traitements m'ont rendu plus rigoureuse sur l'organisation de mon travail.

Les différentes compétences acquises lors de mes années d'études à INTECHMER m'ont beaucoup aidé, ce stage m'a permis de les mettre en œuvre et d'en acquérir davantage. J'ai pu rencontrer de nombreuses personnes, échanger sur leurs connaissances, leurs expériences en mer et leurs parcours professionnels. Ces quatre mois de stage m'ont permis de voir le fonctionnement d'une entreprise et de faire partie du monde du travail. Il me conforte dans l'idée de travailler dans ce milieu.



## VIII. Bibliographie

### Liste des références internet

Geo-Ocean. <https://www.geo-Ocean.fr>

Flotte océanographique française opérée par l’Ifremer. GLOBE.

<https://www.flotteoceanographique.fr/Nos-moyens/Logiciels-de-la-flotte/Analyse-et-traitement-de-l-information/GLOBE>

MADDIDA. Mise à disposition d’information sur les données acquises. <https://maddida.genavir.fr/#>

### Liste des références bibliographiques

#### Campagnes RESISTE :

CARLIER Antoine, DUFOIS François, SIMPLET Laure, DESROY Nicolas (2020), RESISTE, <https://doi.org/10.18142/317>

POFFA N, ENET S, KERINEC J-C (2012). Evolution Instrumentale Des Marégraphes Du Réseau RONIM. <https://doi.org/10.5150/jngcgc.2012.066-P>

#### Campagne GEOSTBRIEUC :

2018 : MENIER David (2018) GEOSAINTBRIEUC18, <https://doi.org/10.17600/18000412>

2022 : doi en cours (Ifremer – SISMER)

AUGRIS Claude, HAMON Dominique (1996). Atlas thématique de l’environnement marin en baie de Saint-Brieuc (Côtes-d’Armor). Ifremer. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00031/14246/>

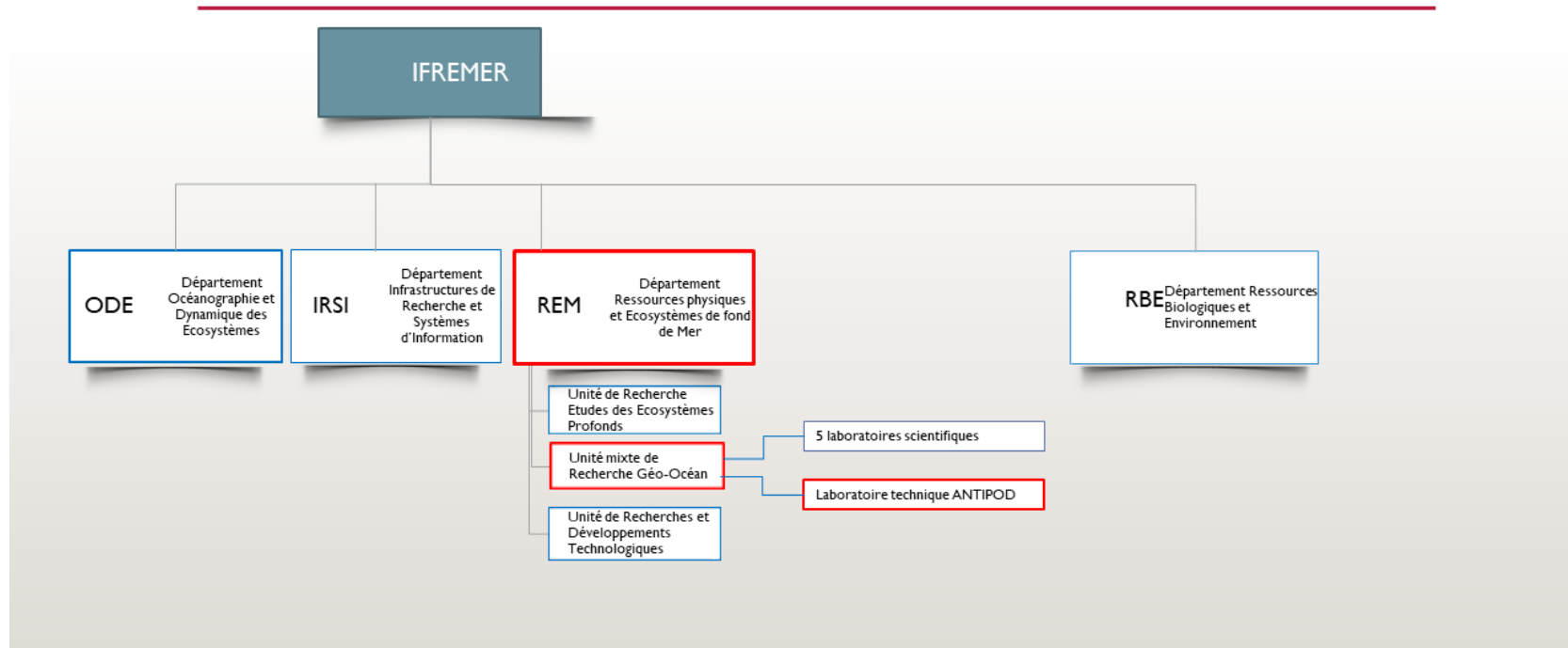


## Table des annexes

Annexe 1 : Organigramme	45
Annexe 2 : Matériel à bord	46
Annexe 3 : Traitements bathymétriques	49
Annexe 4: Programme, filtrage des fichiers	53
Annexe 5 : Carte de la répartition sédimentaire de la baie de Saint-Brieuc	54

Annexe 1 : Organigramme

# ORGANIGRAMME





## Annexe 2 : Matériel à bord

**Bassop** est un conteneur de 20 pieds. Il est intégré d'électronique et d'informatique permettant de faire l'acquisition de données de plusieurs systèmes (sonar, sondeur multifaisceaux, flûte sismique...). Ce conteneur peut être installé sur deux bateaux de la flotte océanique française dont le Thalia.

**L'EM2040** est un sondeur multifaisceaux pour petit fond. Dans le cadre de cette mission il sert à faire des mesures de données bathymétriques.

Fréquence	200 / 300 / 400 kHz
Mesures	Bathymétrie / imagerie / colonne d'eau
Profondeur max	250 m
Largeur de fauchée (Thalia)	140° max / 800 m max
Nombre de faisceaux	256
Largeur de faisceaux	1° x 1° (300 kHz)
Logiciel d'acquisition	Kongsberg SIS 4
Fabriquant	Kongsberg



*Sondeur multifaisceaux EM2040*

**Le Klein 3000** est un sonar latéral remorqué pour petit fond. Le poisson est positionné à l'aide d'un système de positionnement acoustique (base ultra courte, transpondeur positionné sur le câble, transceiver installé à l'extrémité d'une perche).

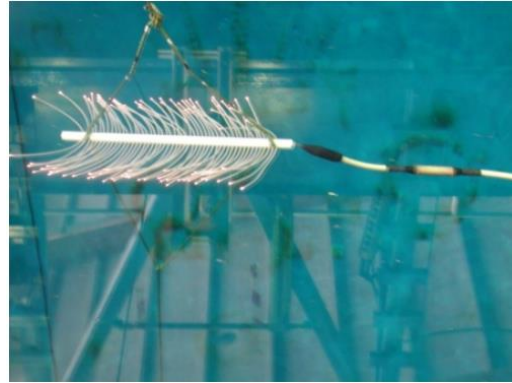
Fréquence	132 / 445 kHz
Mesures	Imagerie
Profondeur d'immersion max	100 m
Longueur du câble	1000 m
Logiciel d'acquisition	Sonarpro
Fabriquant	Sonardyne

Fréquence (kHz)	132 kHz (LF)	445 kHz (HF)
signaux	CW	CW
durée d'impulsion	50 / 100 / 200 / 400 us	25 / 50 / 100 us
largeur des faisceaux	1 x 40 °	0.2 x 40°
inclinaison des faisceaux (p/r à l'horizontale)	-15°	-15°
Portée max (distance oblique) (m)	450	150
cadence d'échantillonnage	24 kHz (3 cm)	24 kHz (3 cm)

**Le sparker** est un équipement sismique de haute résolution, faible portée (il sert le plus souvent pour les navires côtier). Des ondes émises par le peigne, sont réfléchiées par le sol et sont captées par les hydrophones. Cet appareil permet d'imager les différentes couches du sous-sol.



*Hydrophones*



*Peigne*

**Le Sippican** est une sonde jetable qui mesure la température de l'eau sur toute la colonne d'eau. Les données récupérées sont combinées avec des données de salinité pour en déduire la mesure de la célérité.

**Le célérimètre de coque** qui est un appareil de mesure de célérité de surface. Il mesure la vitesse du son dans l'eau par propagation d'un signal acoustique de haute fréquence sur distance courte. Le capteur est Valeport mimiSVS 100mm.



**MiniSVS**

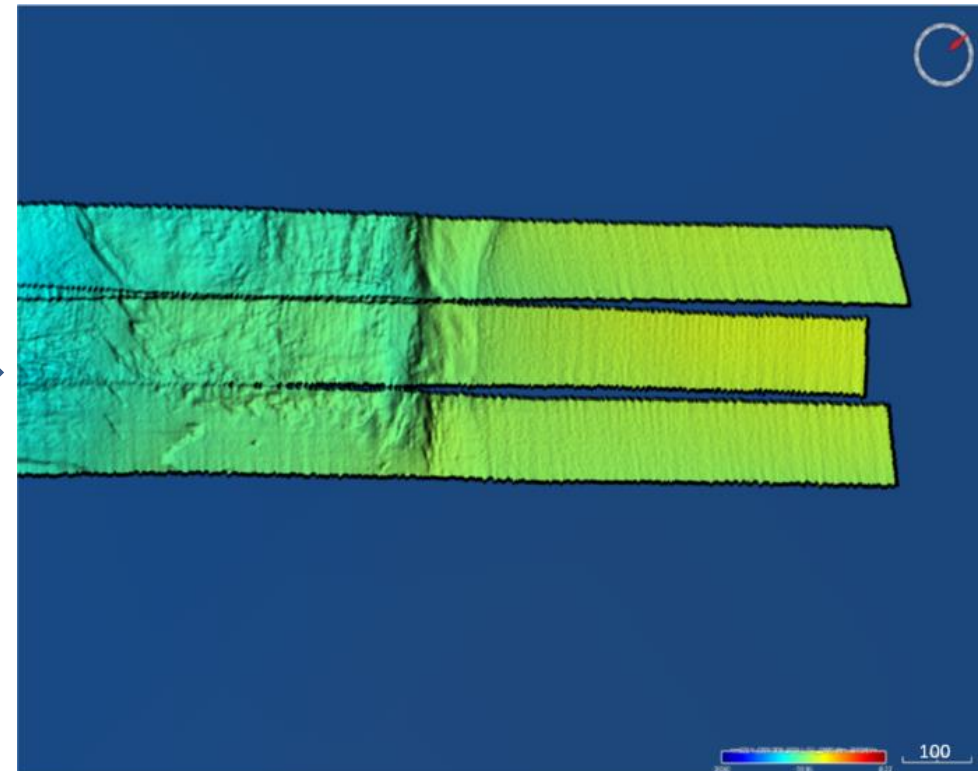
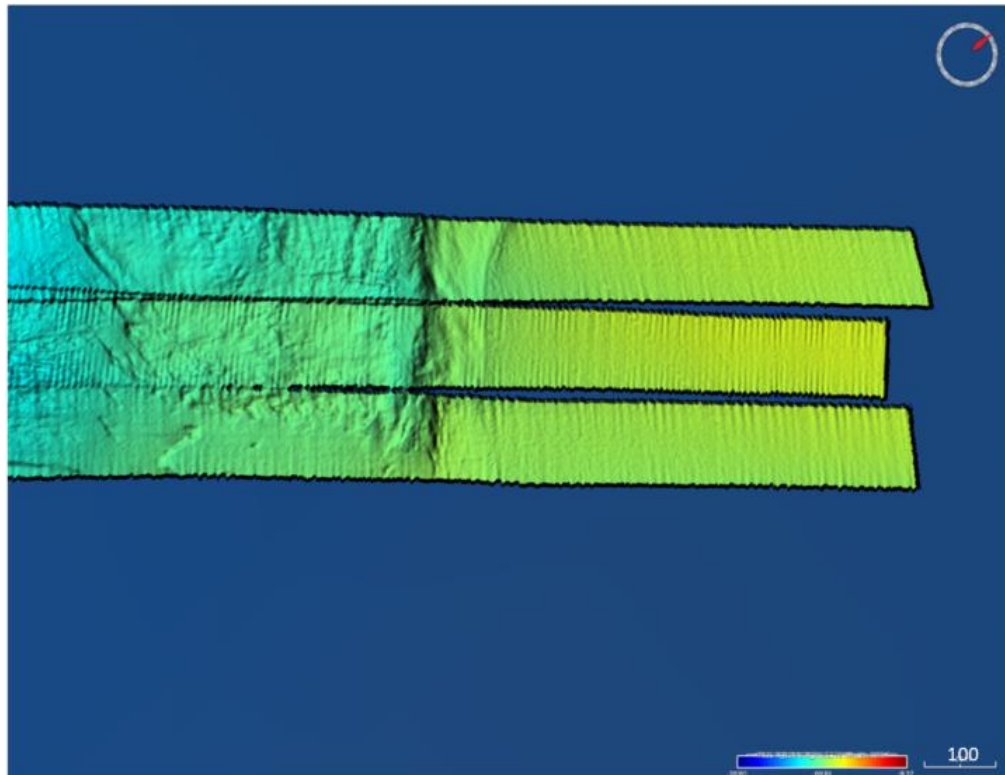
**Le Marégraphe** qui est un appareil de mesure de la marée déployé lors de chaque campagne. Les données sont récupérées et traitées par GENAVIR.



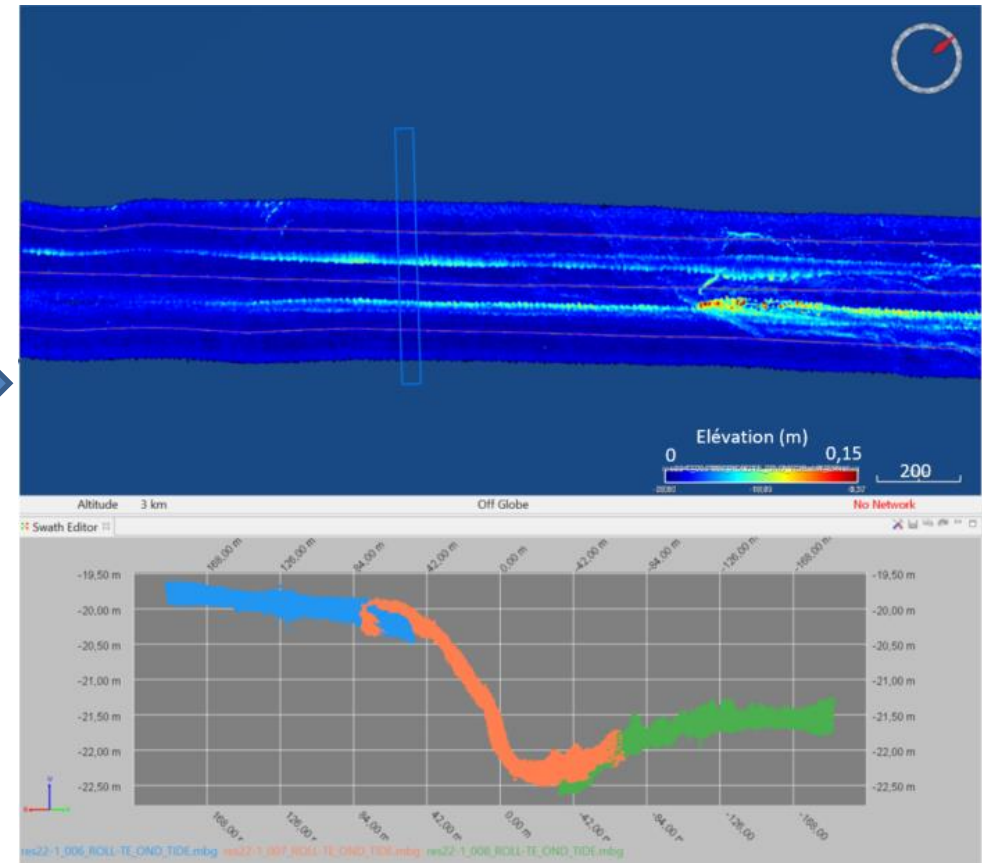
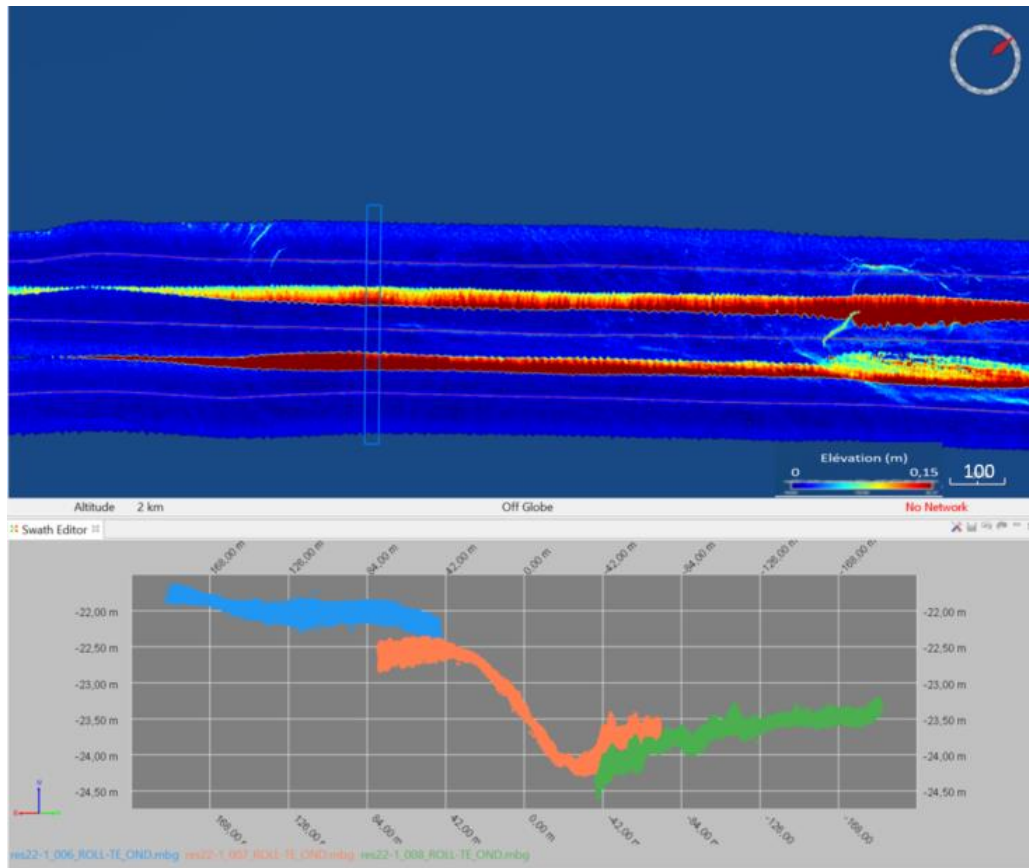
*Marégraphe*

Annexe 3 : Capture d'écran de certains traitements bathymétriques réalisés dans GLOBE

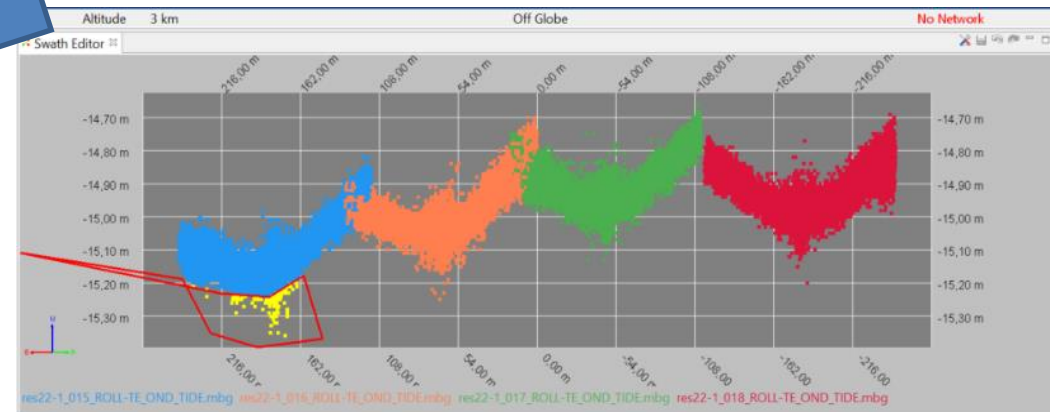
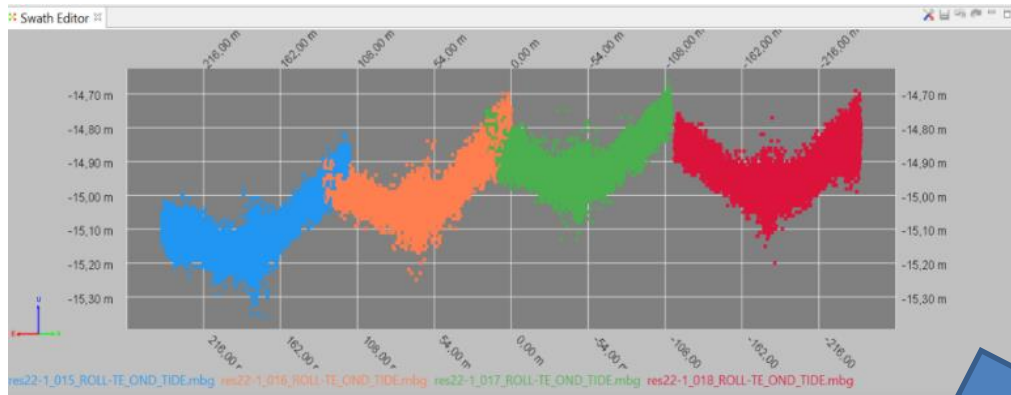
Couche élévation, correction d'ondulation avant / après



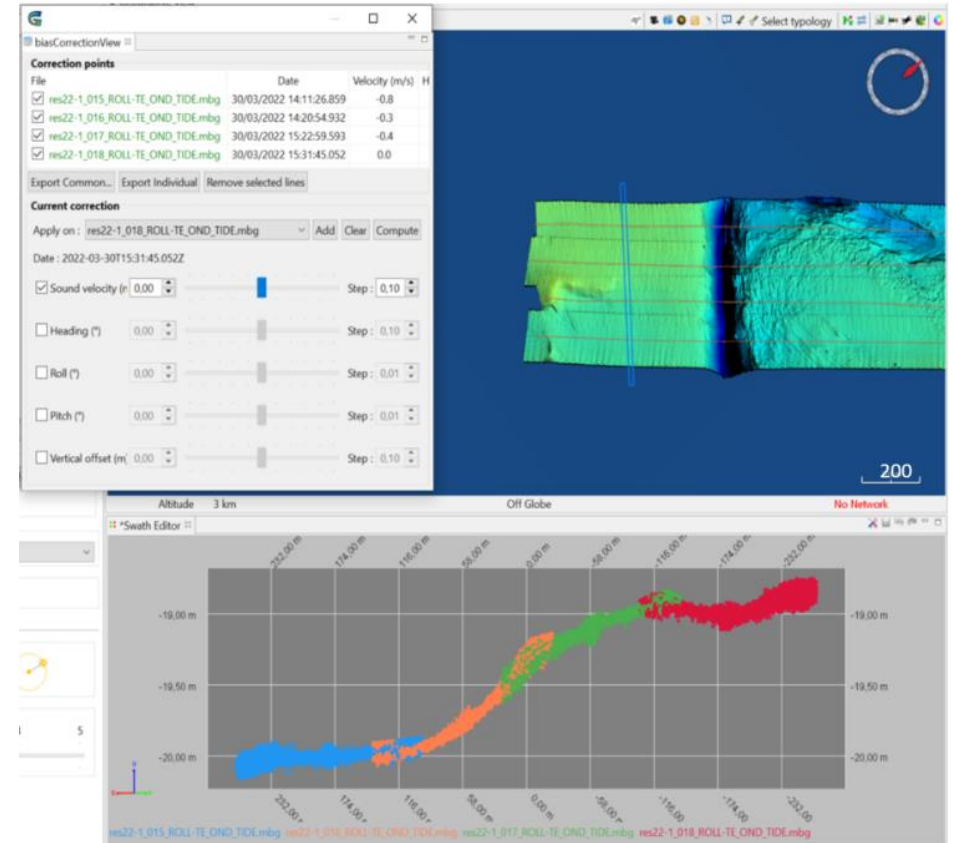
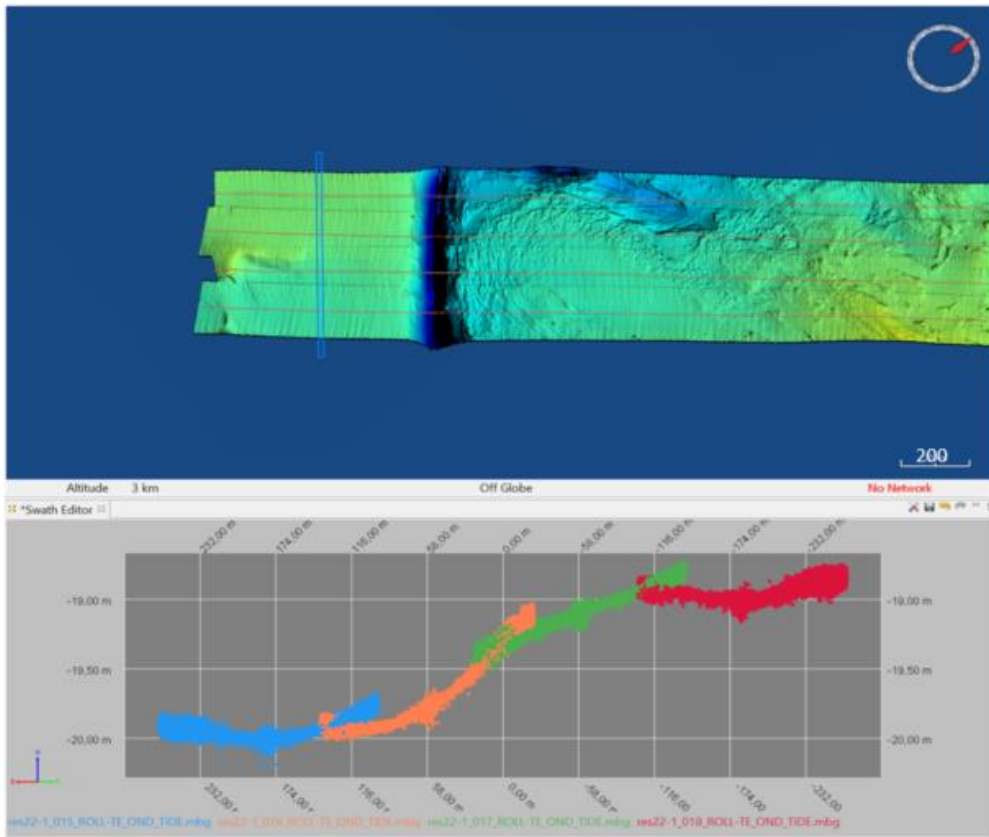
Couche écart type, correction de marée avant/après



### Filtrage dans le Swath Editor



### Correction de célérité dans le Swath Editor



## Annexe 4: Programme pour filtrer les fichiers

```

#Librairies à importer:
import pandas as pd
from datetime import datetime, timedelta, date

#Fonction ouverture et lecture du fichier en dataframe:
def read_files (file):#file entre parentèse = fichier à ouvrir entre"" avc format du fichiers

    df = pd.read_csv(file,
        sep = ',',#séparateur
        names = ['date', 'time', 'value'],#nom des colonnes
        usecols = [1, 2, 5],#localisation des colonnes (date = colonne1)
        parse_dates = {'datetime':[0,1]}, #date (colonne0) et heure (colonne1)
        dayfirst = True)
    df.set_index('datetime', inplace = True) #inplace vrai = modifie le dataframe(fichier-tabulation) en place/ set-index =etiquette de ligne
    return df #renvoie le résultat

#Ouverture et lecture du fichier:
file = read_files("20220504-093535-BS_CELERITE.CELER", )
        #nom du fichier !ne pas oublier le format!
        #le fichier doit se trouver au même endroit que le le script
file = file[file.value!=0] #supp les données = 0

#Fonction permettant de moyenner les données sur 30s
def moyennage(df, temps):
    #df = DataFrame avec les données
    #temps = temps d'échantillonnage entre "" (ex '1min', '30s'...)
    time_range = pd.date_range(min(df.index), max(df.index), freq = temps)#créer fichier time range de lmin même durée que dataframe
    time_range = time_range.round(temps)#arrondir le temps
    moy = []#créer une bibliothèque
    for i in range(len(time_range)):
        moy.append(df['value'][time_range[i]:time_range[i] + timedelta(seconds = 30)].mean())#ranger dans la bibliothèque les données toutes les 30 sec
    df_fin = pd.DataFrame(moy, index = time_range, columns = ['value'])
    return df_fin #renvoie le résultat

#Moyennes toutes les 30s
moyenne = moyennage(file, '30s')#moyenne des données toutes les 30sec

#Création du fichier .txt:
time = list(moyenne.index)
mean = list(moyenne.value)
f = open("Célérité-04_05_2022_2.txt", "w")#ouvre le fichier qui nous intéresse
f.write( "# Datetime ; Célérité \n")#écrit titres colonnes n\retour à la ligne
for i in range(len(time)):
    f.write(format(time[i]) + " ; " + format(mean[i]) + "\n")#écrit les dates et les moyennes
f.close()#ferme le fichier

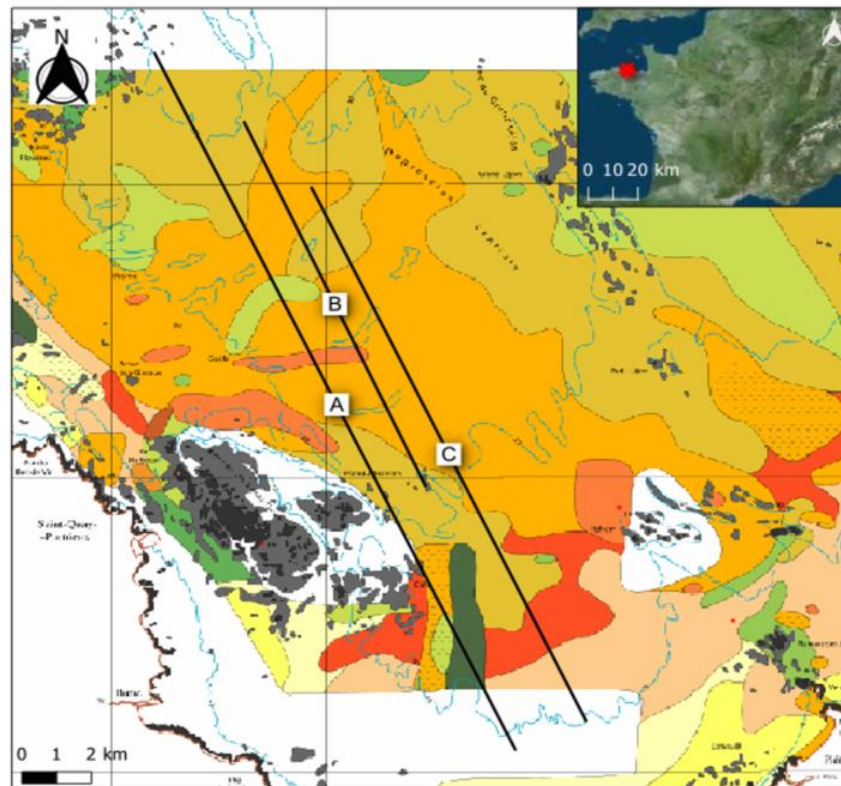
```









## Annexe 5 : Représentation sédimentaire de la baie de Saint-Brieuc

Cadre de la représentation des sédiments superficiels (données de 1962) extrait de l'Atlas de la baie de Saint-Brieuc de 1996

Projection Mercator - Ellipsoïde Hayford



### LÉGENDE

-  Gravier et cailloux (taille > 5mm)  
fraction supérieure à 80%
-  Gravier et cailloux (taille > 5mm)  
fraction comprise entre 60 et 80%
-  Sables grossiers et graviers
-  Sables grossiers (1 < taille < 5 mm)  
fraction supérieure à 60%
-  Sables grossiers (1 < taille < 5 mm)  
fraction comprise entre 40 et 60%
-  Sables moyens et grossiers
-  Sables moyens hétérogènes à éléments fins et grossiers
-  Sables moyens (0,2 < taille < 1 mm)  
fraction supérieure à 75%
-  Sables moyens (0,2 < taille < 1 mm)  
fraction comprise entre 50 et 75%
-  Sables fins et moyens
-  Silts et sables fins (40 < taille < 200 µm)  
fraction supérieure à 80%
-  Silts et sables fins (40 < taille < 200 µm)  
fraction comprise entre 50 et 80%
-  Sables vaseux
-  Vases (taille < 40µm)  
fraction comprise entre 20 et 40%
-  Zones rocheuses immergées
-  Zones rocheuses découvertes
-  Isobathe (en mètres)
-  Profils campagne GEOSTBRIEUC

©IGN- BDOortho 2018  
GARREAU Pierre, IFREMER (DEL), atlas baie Saint-Brieuc  
1996  
TREBAOL Lucie, ANTIPOD 07/2022



## Extended abstract

### I. Introduction

Within the framework of my Bachelor océanographer prospector, I realized an internship of 4 months, from 18 April to 12 August 2022 in Ifremer, located in Plouzané. I carried out the work within the joint research unit Geo-Ocean.

Ifremer is the French Research Institute for Exploration of the sea. It contributes to the national research and innovation system and to European and international research. Within Geo-Ocean, ANTIPOD is a service working on seabed mapping, acquisition and processing of acoustic data, development of computer solutions for data analysis.

During this internship, I worked on data processing of two different missions. These two missions are related to studies of observation and interpretation of the evolution of the seafloor with time.

The first mission is RESISTE2022-1, a campaign to study the resilience of a former marine aggregate extraction area, called the Pilier area. It's localised off Saint-Nazaire. The second mission is GEOSTBRIEUC-2, a campaign to study the sediment dynamics of the Bay of Saint-Brieuc.

The tasks that have been entrusted to me are :

For the mission RESISTE2022-1 :

- Processing of bathymetric data
- The study of the methods of correction of sound velocity and tide.

For the mission GEOSTBRIEUC-2 :

- The mission at sea
- Bathymetric data processing, sonar imaging processing, interpretation in Qgis
- Preliminary analysis

### II. Software used

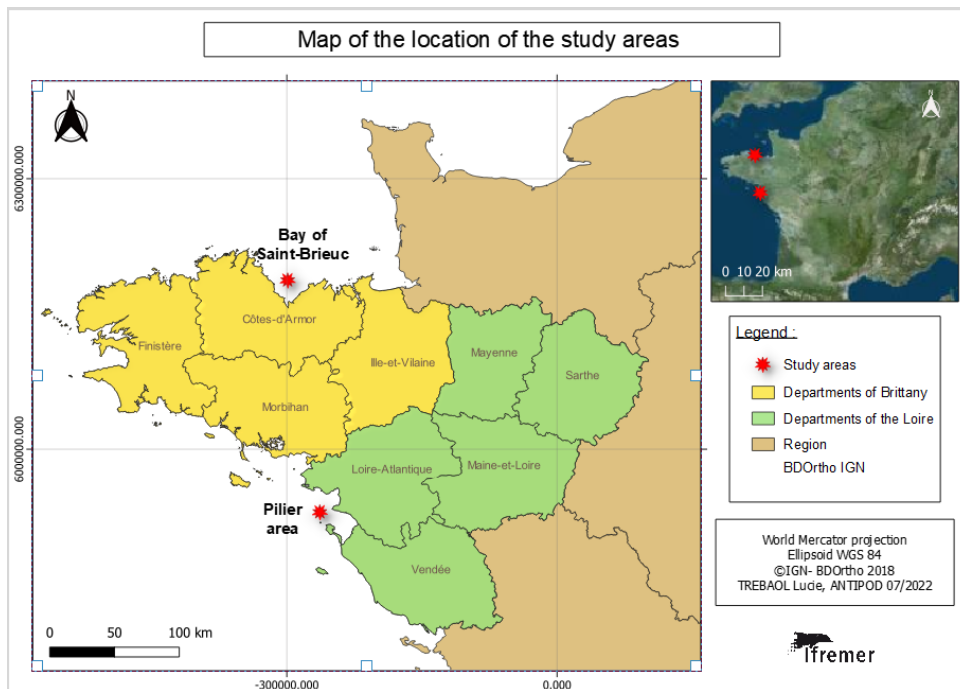
The different software I used for data processing and analysis are summarized in the table below (table 1).

Name of software	features	Type of data processed	data goal
Excel - Spyder	Spyder allows to develop a code in python language.	Tide and sound velocity data files	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduce files (Spyder)</li> <li>Data processing and interpretation, creation of graphics (Excel)</li> </ul>
GLOBE (Global Oceanographic Bathymetry Explorer)	Created by Ifremer (constantly evolving) Version 1.19.3	Bathymetric data	<ul style="list-style-type: none"> <li>Process geo-localized acoustic data in 3D on the</li> <li>Create DTM</li> </ul>
Sonarscope	Created by Ifremer Version 2021(64 bits) and 2022(64 bits)	Sonar data	<ul style="list-style-type: none"> <li>Create background imagery mosaics</li> </ul>
Qgis et ArcGIS	GIS software (Geographic Information Systems) Self-service (QGIS) With a license (ArcGIS)	DTM, Différentials, mosaïc, shape	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interpret the results</li> <li>Create maps</li> </ul>

Tableau 1 : Software used

### III. Location of both study areas

Here is the location map of my two study areas : the RESISTE mission, located off the coast of the Loire Atlantique near the mouth of the Loire and the GEOSTBRIEUC mission, off the coast of Côtes d'Armor in the north of Brittany.



## IV. RESISTE campaign

### IV.1 Context of the mission

The former extraction area of Pilier has been exploited for 31 years (from 1987 to 2018). More than 40 Mm<sup>3</sup> of aggregates have been extracted. This site is currently closed to extraction and will not be re-opened. Ifremer has launched a project, called RESISTE, to study the resilience of a site subjected to anthropic pressure. The Pilier site is taken as a working area. In total four oceanographic missions have been carried out on board the oceanographic vessel N/O Thalia since 2020, spaced about 6 months apart. The last campaign, RESISTE2022-1, was conducted from March 28 to April 6, 2022. During each mission, multibeam echosounder data as well as sidescan sonar data were acquired.

### IV.2 Goals

During the processing of data from previous missions, a small amplitude of about ten centimeters is observable between several differentials. Two main sources of uncertainties were identified during the processing of data from previous campaigns: the tidal correction and the monitoring of the sound velocity.

The first part of my internship consisted of processing the data from the RESISTE2022-1 campaign and analyzing the tidal reduction and sound velocity correction methods in order to minimize the uncertainties they can generate and choose the most suitable processing chain.

### IV.3 Bathymetric data processing

A lot of processing is done. The creation of a standard tree structure is important to organize the work, its follow-up and later its archive. The profiles are arranged by mission day, each profile corresponds to a continuous line followed by the vessel.

With the data acquired during the RESISTE2022-1 campaign, I first construct a Digital Terrain Model (DTM). These DTMs are used to make differentials to compare the results of different missions. The bathymetric data processing is used to obtain an accurate seafloor depth measurement. The software used is Globe. Here is (figure 1) the processing chain that I followed to process my data.

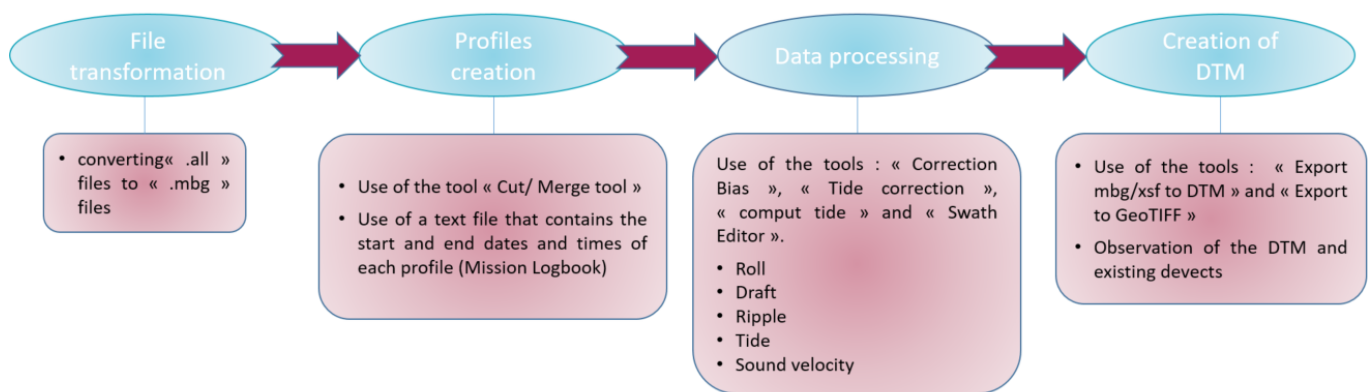
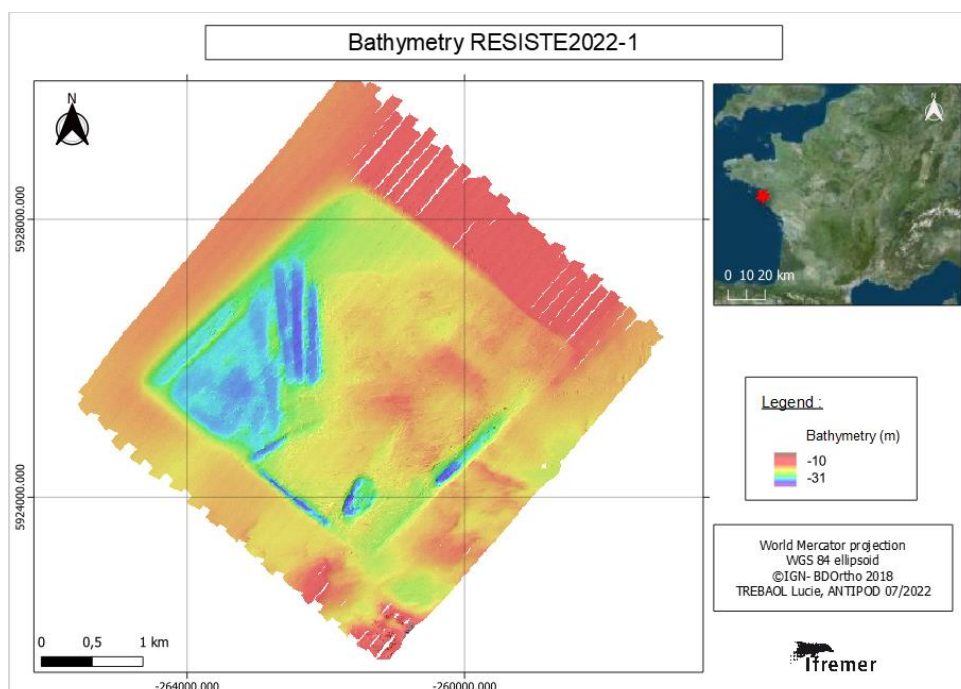


Figure 1 : Bathymetric processing chain - mission RESISTE2022-1

The DTM is then saved in a format (GEOTIFF) to be opened in GIS software for interpretation. The map below is the final DTM.



## IV.4 Analysis of measurement methods

The second part of my work on the RESISTE2022-1 mission consists of analyzing the tide and sound velocity correction methods. These two parameters have a large impact on the conversion of the acoustic measurement to absolute depth. The question is therefore "what method should be used to reduce the uncertainties associated with these corrections? ».

### IV.4.1 Sound velocity

In the processing of bathymetric data, the speed of sound allows us to convert the measurement of time travelled by the acoustic signal into a depth value that we exploit. The study area is located near the mouth of the Loire River, and since significant mixing of freshwater and saltwater can occur, the variation of the sound velocity is complex. The objective is to find a more accurate way to correct the possible errors related to a variation in the speed of sound. For this purpose, two types of sound velocity data are available:

- The data from the hull celerometer (continuous surface measurements). They allow the validation of the measurements made by the Sippican probes.
- The data from the Sippican probes (punctual temperature measurements for the whole water column). These are the ones that are entered into the multibeam sounder.

Before processing the hull celerometer data, the files were sampled with a program (Spyder software) to reduce the amount of data (1 data point every 30 seconds) and to remove zero values. Once this step is done, the data are processed in Excel.

The sound speed corrections made in GLOBE are applied without taking into account the surface velocity curve and the accuracy is not optimal. These manual corrections are not precise enough because between two corrections, the surface celerity curve has evolved. This leads to errors in the DTM where swaths from different shiptracks overlap.

By working on a larger correction amplitude that follows the variations of the speed of sound and that is applied at the most relevant moments, the error areas are smaller. This correction approach is therefore more adapted and the uncertainty is reduced. For example, on the graph of profile 7 of the velocity evolution, the purple bars are an example of the distribution of corrections to be applied. By following this example of correction, less error is observed on the DTM obtained (figure 2).

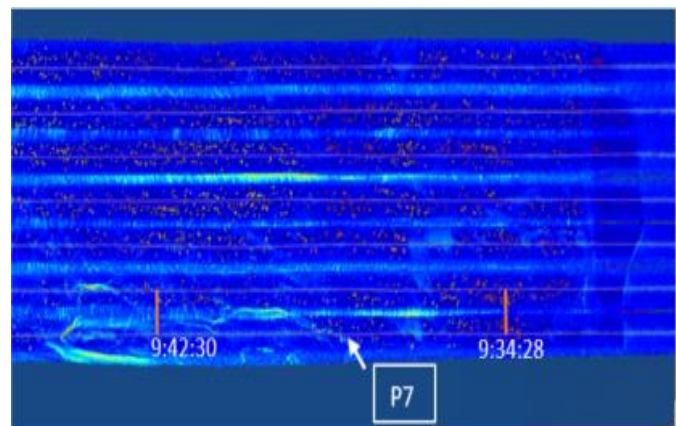
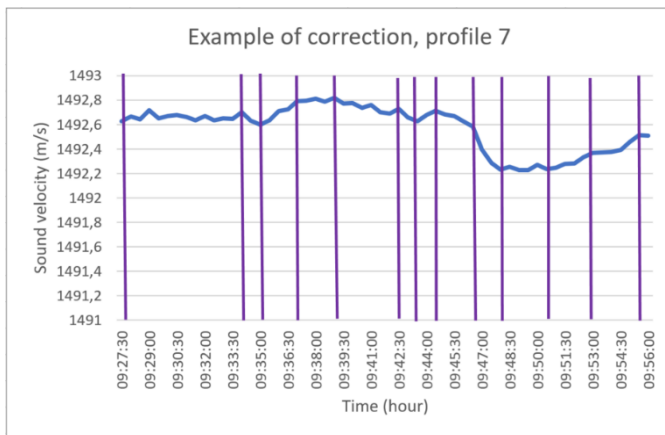


Figure 2 : GLOBE screenshot, DTM (STDEV layer) after proposed sound velocity correction

#### IV.4.2 Tide

The bathymetry profiles are made at different times and days. However, the tide is constantly changing. To ensure that all acquisition profiles are correct and vertically aligned, it is necessary to apply a tidal correction. My work consisted in analyzing the relevance and consistency of each of the tidal records available, to propose a tidal reduction methodology to be applied, in a repetitive way, to the data of these campaigns.

First I made a comparative analysis of all the tidal records available to me. Then I was particularly interested in the two types of tide determination "tide gauge in port + SHOM harmonic model" and "RTK" because they are the two methods used for the previous missions.

- Combined measurement by tide gauge in port and harmonic model:

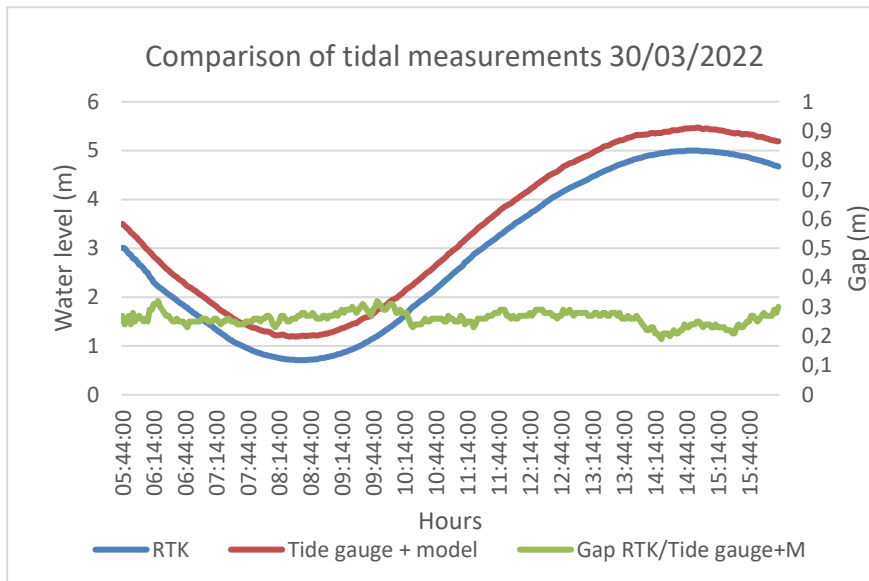
In port, the tide measurement can be done by the coastal tide gauge in real time and by the SHOM harmonic model in prediction. The calculation of the difference between the two gives us the measure of anomaly that we use to correct the tide measurement predicted by the harmonic model of the SHOM on the study area. To use it, the study area must be close to the coast and a tide gauge must be installed in a nearby port.

- RTK measurement:

The tide measurement can also be done by a RTK (Real Time Kinematic) measurement of a GPS (Global Positioning System) antenna installed on a boat. This antenna measures the height between it and the reference ellipsoid. To deduce the tidal height, we subtract from this measurement the height between the Hydrographic Datum and the ellipsoid and then add the draft measurement.

When comparing the data from these two tidal measurements, there is a consistent difference of about 0.2 m (graph below).





With the bathymetry data from the April 2022 mission, I made two DTMs, one with a RTK tidal correction (figure 3) and one with a combined tidal correction from the harbor tide gauge and the harmonic model (figure 4), to determine which one has less error. The standard deviation layers for the two DTMs are compared:

- Many errors are observable because the tidal correction is not yet applied.
- More errors are observed on the DTM treated with the RTK tide (example: area surrounded by a red circle). In particular on April 2.

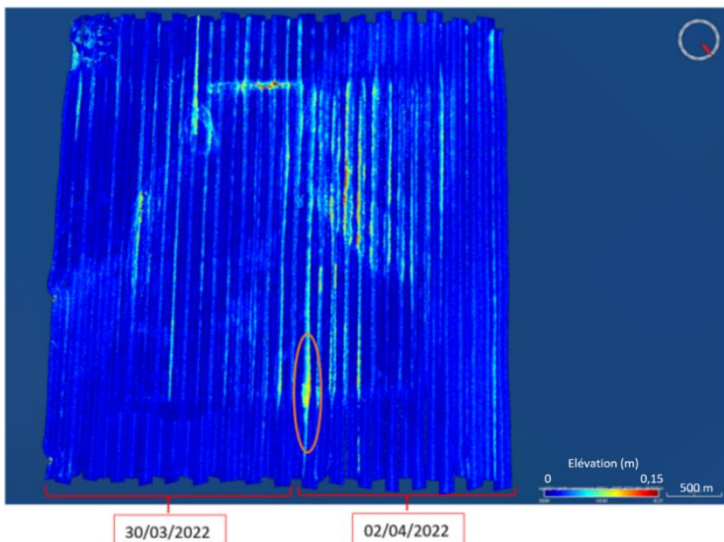


Figure 3 : Screenshot, DTM (STDEV layer), RTK tide

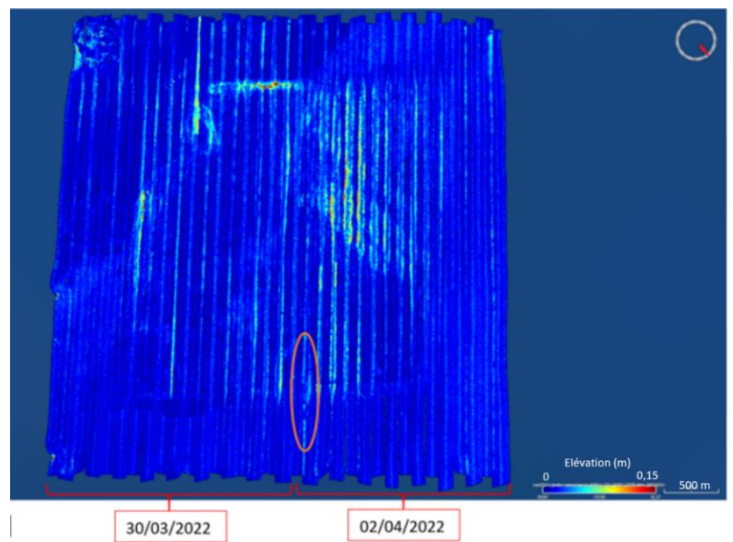
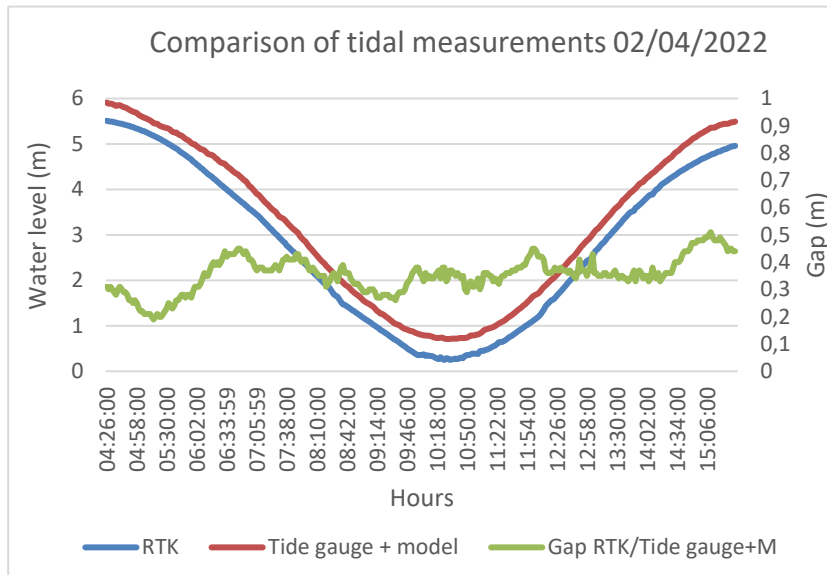


Figure 4 : Screenshot, DTM (STDEV layer), predicted tide

On April 2, the difference between the two tide measurements varies more clearly than on April 30 (Graph below). The difference between these two days is the weather condition (bad weather on April 2). We believe that the weather condition may have degraded the RTK tide measurement. However, these errors are of the order of a centimeter and therefore very difficult to correct.



#### IV.5 Conclusion :

The most accurate way to correct for celerity errors at this time would be to apply our corrections based on the evolution of sound velocity over time. We do not have all the information necessary to determine celerity corrections representative of the entire water column. To further improve the spatial and temporal celerity correction, more data and the entire water column would be needed.

The most reliable tide measurement method for data processing is the combined tide measurement tide gauge of the nearest port and harmonic model of SHOM because the errors are less. We can recommend for the next RESISTE campaigns to use this combined method.

## V. GEOSTBRIEUC campaign

### V.1 Context of the mission

The GEOSTBRIEUC-2 oceanographic campaign is supervised by David Menier, teacher-researcher in Marine Geosciences at the faculty of Vannes (University of Southern Brittany) and who is part of the joint research unit Geo-Ocean. GEOSTBRIEUC-2, took place in April/May 2022. It follows a first campaign on the same area in 2018. The data from the two campaigns are complementary and allow the study of morphological and sedimentary evolution in the Bay of Saint-Brieuc. I participated in the mission at sea which took place from April 29 to May 10, 2022 on board the N/O Thalia, a coastal vessel of the French oceanographic fleet.

### V.2 Goals

The objective is to compare bathymetric and morphological data on profiles common to both missions (2018 and 2022). For this, I first processed the data collected at sea. Then I made a preliminary interpretation to identify possible morphological evolutions.

### V.3 Data processing

#### V.3.1 Bathymetry

The processing of bathymetric data is done in the GLOBE software, here is the chain of treatments that has been applied.

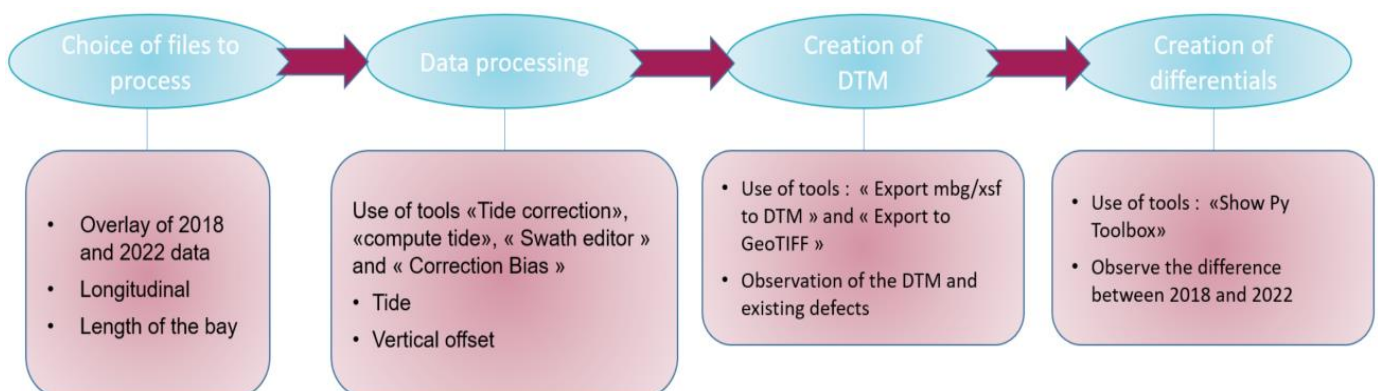
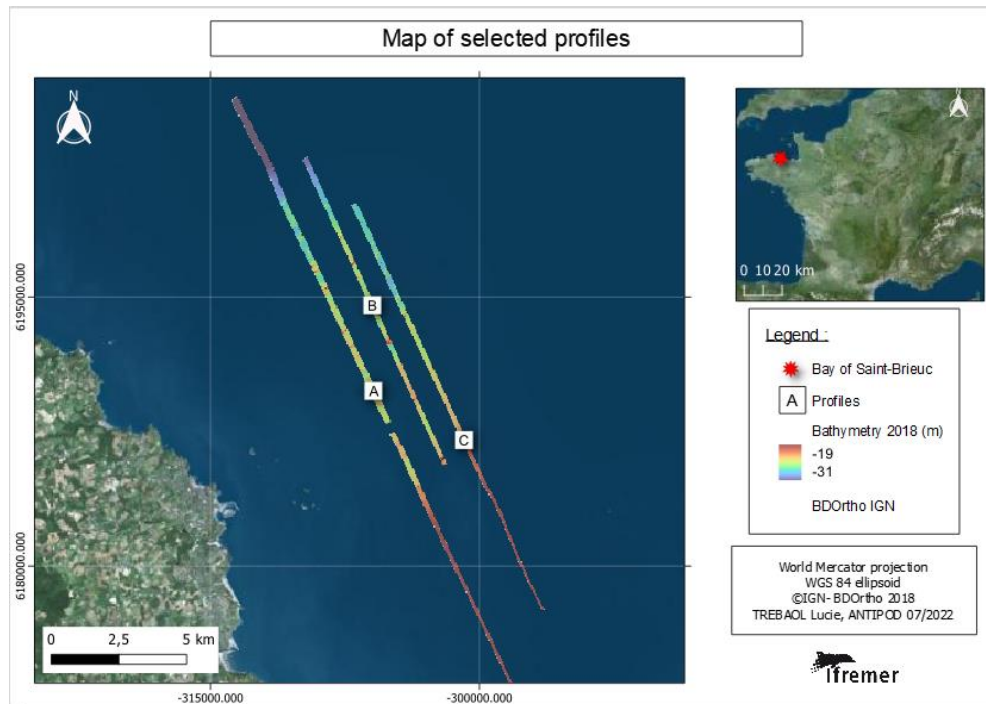


Figure 5 : Bathymetric processing chain - mission GEOSTBRIEUC-2

By superimposing the profiles of the two years we notice that the 2022 data fills the gap in the 2018 data (map of selected profiles) and that few profiles overlap. David Menier wanted to analyze longitudinal profiles along the bay. The profiles finally selected are indicated on the map.



Once the DTMs are exported, a height offset (Z-axis) is observed between the 2018 (orange on the graph figure 42) and 2022 (blue on the graph figure ...) profiles. Comparing the height between the two profiles we see that the 2018 data are above the 2022 data (see figure 6).

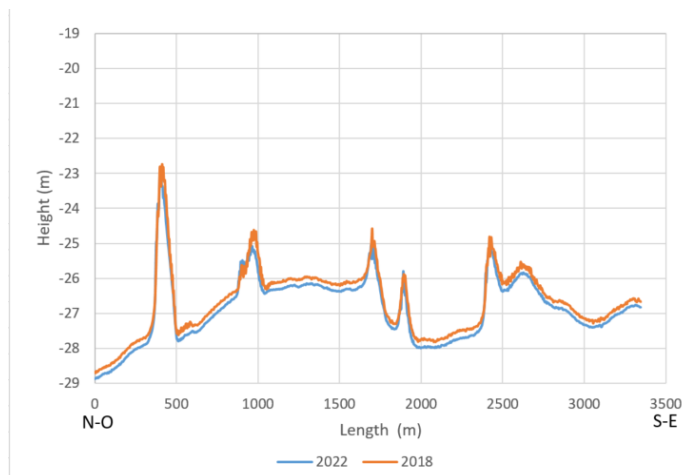


Figure 6 : Ground level in 2018 and 2022, sandy area

Average of the difference	0,18
Standard deviation of the difference	0,11
Correlation Coefficient (101 values)	0,99

The error is due to several measurement parameters (method of data collection, device defect, processing defect ...).

- The morphology evolves little between the two years (correlation coefficient of the two curves is 0,99, close to 1), the linear relation of the two curves is positive and strong between the variables. (Cf. appendix ...)

- The time lag between the two years is constant (on average 0.18m with a small standard deviation of 0.11m).

I checked if this error was not the result of a sedimentary erosion of the area by looking at the height of two profiles (2018 and 2022) acquired over a rocky area. We observe the same difference, and hence we decided to correct the vertical offset bias in GLOBE, so that the 2018 data is recalibrated to the 2022 data.

The bathymetric differential DTM is made by subtracting the DTMs of 2018 and 2022 (2022-2018).

### V.3.2 Sonar

Sonar imagery data processing is done with the Sonarscope software. Sonar imagery data will be complementary to bathymetry data. Here is the chain of treatments that have been done.

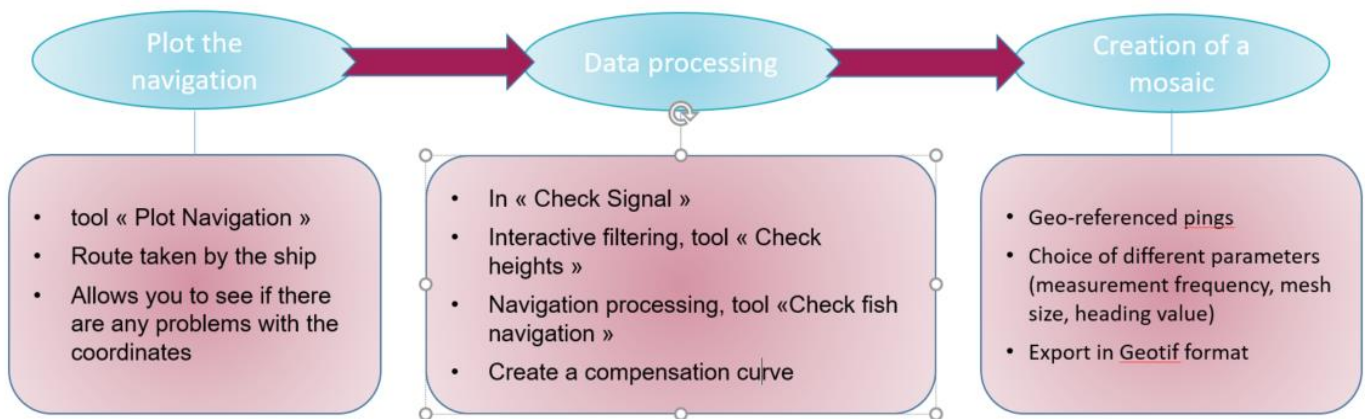


Figure 7 : Sonar processing chain - GEOSTBRIEUC-2 mission

### V.3.3 QGIS

QGIS is a GIS software that is used to interpret the results. Several layers are created from the DTMs in GeoTIFF format. Here are the layers I prepared for the analysis of the GEOSTBRIEUC-2 mission data:

- shading layer (difference in relief)
- slope layer (locate the dunes)
- exposure layer (determine the limit between two dune flanks)
- topographic section

## V.4 Preliminary analysis

For the interpretation of the results, I have chosen to focus on one area, the upper part of profile A. This is the most interesting one, the one where we observe the most difference between 2018 and 2022.

### V.4.1 Description of the zone :

- We are located in a macro tidal area, with a high tidal range (tidal range up to 13 m).
- Little influence of the ghouls in this area.
- strong tidal range therefore important flow. Current of ebb tide going up to 6 cm/s. (figure...)
- the study area of profile A is located in a zone with medium and coarse sand where the sedimentary figures are sand wave crests

Data extracted from the Saint-Brieuc Bay atlas (1996), figure 8.

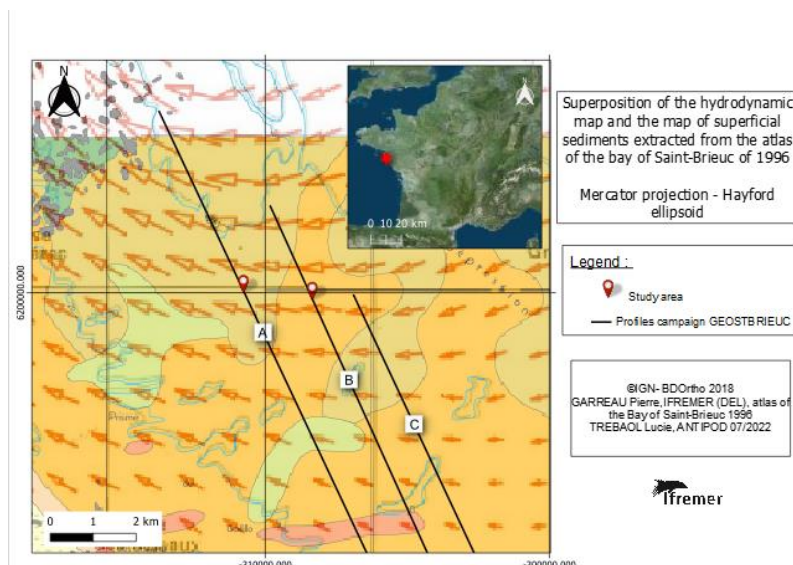


Figure 8 : *Current map superimposed on the surface sediment map of the Bay of Saint-Brieuc*

### V.4.2 Comparison

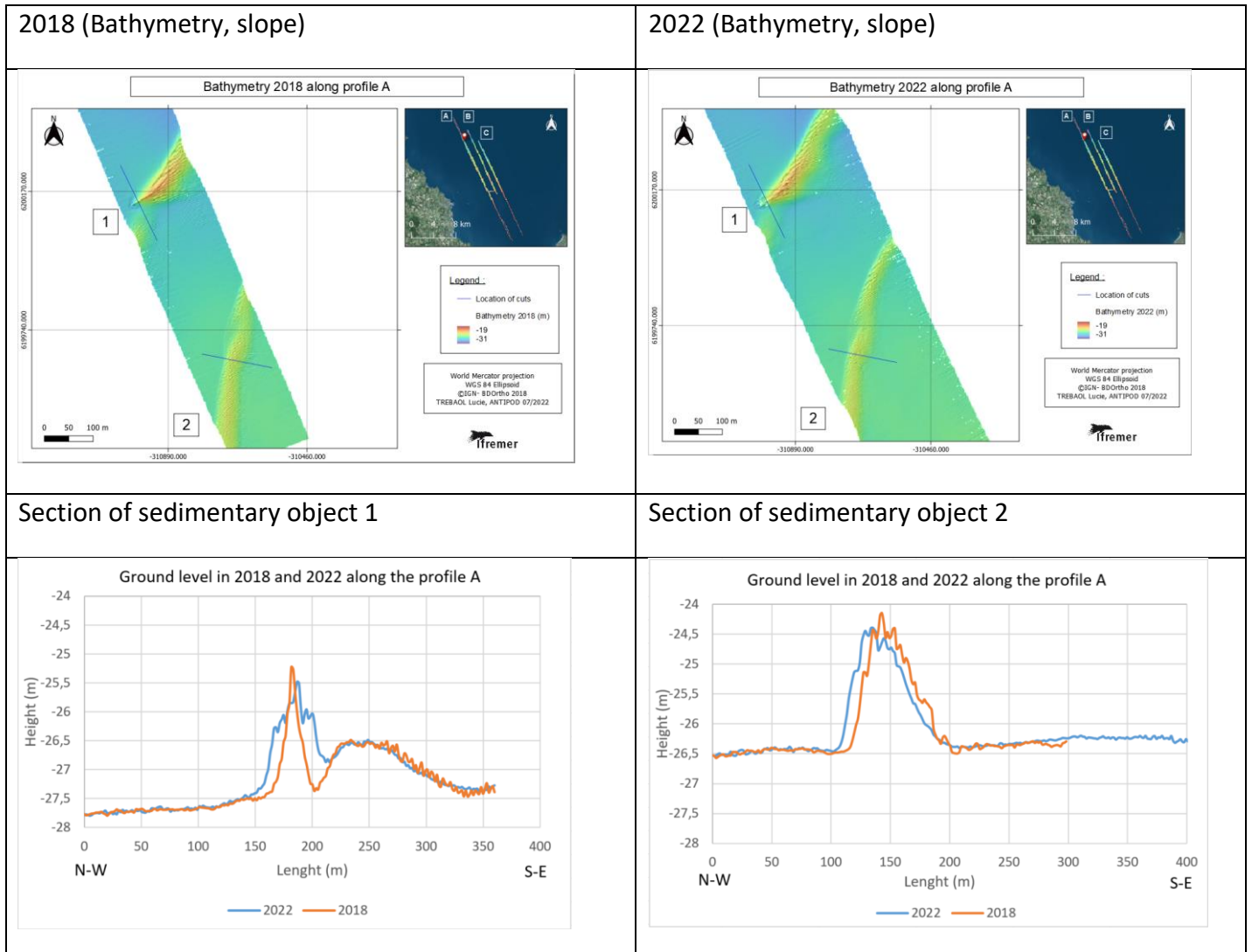
The top of profile A of each year was studied with bathymetry, slope, exposure maps and sonar imagery. These maps indicate the presence of two sand dunes with :

- on one side a steep (up to 20°) and smooth slope (to the northwest)
- on the other side a more spread out and less important slope (going up to 10°) and undulated (to the South-East).

The differential indicates a change of 1 meter or more between 2018 and 2022. The DTM slice graphs showing us the depth of the seafloor (Orange in 2018 and blue in 2022) confirm the observations of the differential.

Object 1 has widened from 15 m wide in 2018 to 38 m wide in 2022. The peak has widened by 23 m in 4 years (measurements made at the midpoint of the ridge).

Object 2 has moved to the northwest, at mid-crest the slope in 2018 is 126 m from the beginning of the cut and in 2022 is 116 m. In 4 years it has moved 10 m.



## V.5 Conclusion

Without taking into account measurement errors, the studies made for the GEOSTBRIEUC-2 campaign show that the sedimentary ridges are globally identical between 2018 and 2022, but a shift towards the northwest is observable. These are observations made, based on a limited number of examples. Other missions must be carried out to collect more data and make more observations.

## Résumé

Ce document est le rapport du stage de quatre mois que j'ai réalisé au sein de l'institut Ifremer dans le cadre de ma fin de deuxième année de formation d'océanographe prospecteur (INTECHMER). Lors de ce stage, des jeux de données acoustiques (bathymétrie, sonar) de deux missions différentes sont traités et interprétés, ce rapport vous présente toutes les étapes de mon travail. Le but est d'observer une évolution sédimentaire des deux zones dans le temps et de proposer les méthodes de traitement les plus favorables à la réduction d'incertitudes. La première mission traitée est RESISTE2022-2, c'est la cinquième mission de la campagne d'étude de résilience d'une ancienne zone d'extraction de granulats. La seconde mission traitée est GEOSTBRIEUC-2, c'est une mission d'étude de la baie.

Mots clés : Célérité, mesure de marée, traitement de données bathymétrique, traitement de données sonar, modèle numérique de terrain, différentiels, baie de Saint-Brieuc, site du Pilier.

## Abstract

This document is the report of the four-month internship I did at Ifremer Institute as part of my second year of training as an oceanographer prospector (INTECHMER). During this internship, acoustic data sets (bathymetry, sonar) from two different missions are processed and interpreted. This report presents all the steps of my work. The goal is to observe a sedimentary evolution of the two zones in time and to propose the most adapted processing methods to reduce uncertainties. The first mission treated is RESISTE2022-2, it is the fifth mission of the resilience study campaign of a former aggregate extraction area. The second mission treated is GEOSTBRIEUC-2, it is a study mission of the bay of Saint-Brieuc.

Keywords: Sound velocity, tidal measurement, bathymetric data processing, sonar data processing, digital terrain model, differentials, Bay of Saint-Brieuc, area of Pilier.