

DAEU du dragage et de l'extension du port de commerce de Galisbay

Phase 5 – Etudes de modélisation des opérations sur les sites de Galisbay-Marigot et la zone d'immersion

Phase 5D : Etude de la stabilité du chenal et des besoins en dragages d'entretien



PROJET FINANCÉ
par le fonds européen
de développement régional

*Dans le cadre de REACT-EU :
dispositif de relance de l'Union en
réponse à la pandémie de COVID-19*



Établissement Portuaire de Saint-Martin

Rapport d'étude

17 juillet 2023

Ce rapport a été préparé conformément au système qualité de DHI certifié ISO 9001 par Bureau Veritas

ISO 9001
Management System Certification
BUREAU VERITAS
Certification Denmark A/S



DAEU du dragage et de l'extension du port de commerce de Galisbay

Phase 5 – Etudes de modélisation des opérations sur les sites de Galisbay-Marigot et la zone d'immersion

Phase 5D : Etude de la stabilité du chenal et des besoins en dragages d'entretien

Préparé pour Etablissement Portuaire de Saint-Martin
Représenté par M. Albéric Ellis, Directeur du port



La baie de la Potence et le Port de Galisbay (Photo GAIA)

Chef de projet	Caroline TESSIER
Numéro de projet	21803656
Date de validation	17/07/2023
Révision	1.0
Catégorie	Restreint

SOMMAIRE

1	Introduction	4
2	Plan du projet	6
3	Conditions météo-marines sur le site d'étude	7
3.1	Vents	7
3.2	Vagues	9
3.3	Niveaux marins	10
3.4	Courants	11
3.5	Caractéristiques sédimentaires et nature des fonds	12
3.5.1	Matières en suspension	12
3.5.2	Nature des fonds et répartition des sédiments	13
3.5.3	Données granulométriques	14
3.5.3.1	D'après PARETO, 2013	14
3.5.3.2	D'après Antilles GEOTECHNIQUE, 2016 et 2020	15
4	Le modèle hydrosédimentaire de la baie de Galisbay	16
4.1	Emprise et maillage du modèle hydrosédimentaire	16
4.2	Les forçages du modèle	18
4.2.1	Année type de référence	18
4.2.1.1	Le forçage météorologique	19
4.2.1.2	Les conditions de vagues	19
4.2.1.3	Les niveaux marins	19
4.2.2	Ouragans	19
4.3	Paramétrisation du modèle sédimentaire	21
5	Résultats de modélisation	25
5.1	Champs de vagues, courants et transport sédimentaire	25
5.2	Sédimentation dans le chenal	30
5.2.1	Année 2012	30
5.2.2	Ouragan Irma	38
5.2.3	Ouragan Gonzalo	44
6	Conclusion	49
7	Références	51

FIGURES

Figure 1.1 : Le projet d'aménagement et d'extension du Port de Commerce de Galisbay, esquisse SETEC (à Gauche) et le plan masse des opérations de dragage pour un chenal à -9m (à droite).....	4
Figure 1.2 : Localisation de la zone d'immersion pré-identifiée dans l'étude d'impact d'EGIS 2017.	4
Figure 2.1 : Plan du projet (Réf. /8/).	6
Figure 3.1 : Localisation des roses des vents, vagues et courants présentées ci-après, ainsi que du marégraphe de Galisbay.	7
Figure 3.2 : Rose des vents CFSv2 2010 – 2020 à l'entrée de la baie de Galisbay.	8
Figure 3.3 : Trajectoire des derniers cyclones ayant affectés Saint-Martin : Earl (2010), Gonzalo (2014) et Irma (2017). Historical Hurricane Tracks (noaa.gov)	8
Figure 3.4 : Rose des vagues 2011 – 2021 à l'entrée de la baie de Galisbay.	9
Figure 3.5 : Niveaux d'eau mesurés en 2002 au marégraphe de Saint-Martin (en m par rapport au ZH). Données validées mises à disposition sur le site REFMAR.	10
Figure 3.6 : Rose des courants moyennés sur la verticale 2011 – 2021 à l'entrée de la baie de Galisbay.	11
Figure 3.7 : Cartographie des habitats marins de la Grand'Baie de Marigot (Réf. /6/).	13
Figure 3.8 : Plan d'échantillonnage des 10 stations de prélèvements (Réf. /7/).	14
Figure 3.9 : Plan d'implantation des reconnaissances géotechniques d'Antilles GEOTECHNIQUE 2016 (Réf. /1/).	15
Figure 3.10 : Plan d'échantillonnage des sondages carottés d'Antilles GEOTECHNIQUE 2020 (Réf. /2/).	15
Figure 4.1 : Emprise et bathymétrie interpolée du modèle hydrosédimentaire de la baie de Galisbay.	17
Figure 4.2 : Maillage du modèle hydrosédimentaire de la baie de Galisbay.	17
Figure 4.3 : Roses des vagues au large de la baie de Galisbay : 2011-2021 (gauche) et 2012 (droite).	18
Figure 4.4 : Roses des courants moyens sur la verticale au large de la baie de Galisbay : 2011-2021 (gauche) et 2012 (droite).	18
Figure 4.5 : Comparaison modèle – mesure des niveaux marins (en m NM, Niveau Moyen) au marégraphe de Saint-Martin pendant l'événement Irma	20
Figure 4.6 : Vitesses de chute des sédiments cohésifs : fines en orange, sables fins en gris	21
Figure 4.7 : Initialisation de la carte sédimentaire. Dans l'ordre : fines (10%), sables fins (10%), sables grossiers (80%).....	23
Figure 4.8 : Cartes sédimentaires obtenues après itérations. Dans l'ordre : fines dans la baie, fines venant du large, sables fins et sables grossiers.	24
Figure 5.1 : Champ des vagues modélisées dans la baie de Galisbay pendant la tempête d'octobre 2012, le 30/10/2012 à 12h UTC.....	26
Figure 5.2 : Champ des courants 2D modélisé dans la baie de Galisbay pendant la tempête d'octobre 2012, le 30/10/2012 à 12h UTC.....	26
Figure 5.3 : Champ du transport sédimentaire (sables grossiers uniquement) cumulé modélisé dans la baie de Galisbay à l'issue de la simulation 2012 (1 an).	27
Figure 5.4 : Champ des vagues modélisées dans la baie de Galisbay pendant l'ouragan Irma, le 06/09/2017 à 10h UTC.	28
Figure 5.5 : Champ des courants 2D modélisés dans la baie de Galisbay pendant l'ouragan Irma, le 06/09/2017 à 10h UTC.	28
Figure 5.6 : Champ du transport sédimentaire (sables grossiers uniquement) cumulé dans la baie de Galisbay à la fin de la simulation Irma (15 jours).....	29
Figure 5.7 : Positions d'extractions des séries temporelles présentées ci-après.	31
Figure 5.8 : Sédimentation dans le chenal après 6 mois de l'année représentative (fin juin 2012) – toutes fractions sédimentaires confondues.	32
Figure 5.9 : Sédimentation dans le chenal après 1 an représentatif (fin décembre 2012) – toutes fractions sédimentaires confondues.	32
Figure 5.10 : Sédimentation dans le chenal après 1 an représentatif (fin décembre 2012). Dans l'ordre : fines de la baie, fines du large, sables fins et sables grossiers.....	33

Figure 5.11 :Séries temporelles 2012 extraites sur la zone du projet des vitesses de courant (haut), des hauteurs significatives des vagues (milieu) et de l'épaisseur des sédiments (bas).	34
Figure 5.12 :Séries temporelles 2012 extraites sur la zone du projet des épaisseurs des différentes fractions sédimentaires : au cercle d'évitage (haut), au droit du quai (milieu) et au sud du chenal (bas).	35
Figure 5.13 :Séries temporelles 2012 extraites dans la baie des vitesses de courant (haut), des hauteurs significatives des vagues (milieu) et de l'épaisseur des sédiments (bas).	36
Figure 5.14 :Zonage des dépôts sédimentaires (sédimentation de l'année 2012 simulée).	37
Figure 5.15 :Sédimentation dans le chenal après l'ouragan Irma – toutes fractions sédimentaires confondues.....	38
Figure 5.16 :Sédimentation dans le chenal après l'ouragan Irma. Dans l'ordre : fines de la baie, fines du large, sables fins et sables grossiers.	39
Figure 5.17 :Séries temporelles Irma extraites sur la zone du projet des vitesses de courant (haut), des hauteurs significatives des vagues (milieu) et de l'épaisseur des sédiments (bas).	40
Figure 5.18 :Séries temporelles Irma extraites sur la zone du projet des épaisseurs des différentes fractions sédimentaires : au cercle d'évitage (haut), au droit du quai (milieu) et au sud du chenal (bas).	41
Figure 5.19 :Séries temporelles Irma extraites dans la baie des vitesses de courant (haut), des hauteurs significatives des vagues (milieu) et de l'épaisseur des sédiments (bas).	42
Figure 5.20 :Zonage des dépôts sédimentaires (sédimentation Irma).	43
Figure 5.21 :Sédimentation dans le chenal après l'ouragan Gonzalo – toutes fractions sédimentaires confondues.....	44
Figure 5.22 :Séries temporelles Gonzalo extraites sur la zone du projet des vitesses de courant (haut), des hauteurs significatives des vagues (milieu) et de l'épaisseur des sédiments (bas).	45
Figure 5.23 :Séries temporelles Gonzalo extraites sur la zone du projet des épaisseurs des différentes fractions sédimentaires : au cercle d'évitage (haut), au droit du quai (milieu) et au sud du chenal (bas).	46
Figure 5.24 :Séries temporelles Gonzalo extraites dans la baie des vitesses de courant (haut), des hauteurs significatives des vagues (milieu) et de l'épaisseur des sédiments (bas).	47
Figure 5.25 :Zonage des dépôts sédimentaires (sédimentation de Gonzalo).	48
Figure 6.1 : Zonage des dépôts sédimentaires (sédimentation de 2012).	50

TABLEAUX

Tableau 3.1 : Références Altimétriques à Saint-Martin (SHOM, RAM 2020). PHMA : Plus Hautes Mer Astronomiques ; PBMA : Plus basses Mers Astronomiques ; NM : Niveau Moyen ; ZH : Zéro Hydrographique.	10
Tableau 4.1 : Fractions sédimentaires considérées dans le modèle	21
Tableau 4.2 : Analyse des granulométries « de surface ».	22
Tableau 4.3 : Pourcentages des fractions fines, sables fins et sables grossiers d'après les analyses granulométriques	22
Tableau 4.4 : Pourcentages des fractions fines, sables fins et sables grossiers retenus dans le modèle	22
Tableau 5.1 : Tableau bilan des volumes déposés/érodés (en m ³) par fractions sédimentaires à l'issue de l'année 2012.....	37
Tableau 5.2 : Tableau bilan des volumes déposés/érodés (en m ³) par fractions sédimentaires à l'issue de l'ouragan Irma	43
Tableau 5.3 : Tableau bilan des volumes déposés/érodés (en m ³) par fractions sédimentaires à l'issue de l'année 2012.....	48
Tableau 6.1 : Tableau bilan des volumes déposés/érodés (en m ³) toutes fractions sédimentaires confondues pour les simulations 2012, Irma et Gonzalo.....	50

1 Introduction

L'établissement Portuaire de Saint-Martin souhaite réaliser un projet d'extension du Port de Commerce de Galisbay et l'aménagement d'un Quai Croisière (Figure 1.1). Ce projet est associé à des opérations de dragages d'un chenal d'accès au port, dont la cote retenue est finalement de -9m au lieu de -12m dans le projet initial (Etude EGIS 2017).

Le programme actuel (AVP SETEC International) prévoit un dragage de 441 000 m³ de sable à valoriser dans le terre-plein, 123 000 m³ d'argile à claper en mer et 154 000 m³ de sables à claper ou valoriser en partie (site Cul-de-Sac par exemple). Le site d'immersion pressenti dans l'étude d'impact EGIS 2017 est situé à l'ouest de Saint-Martin, par des fonds de 400-600 m, à environ 18 km du port de commerce (Figure 1.2).



Figure 1.1 : Le projet d'aménagement et d'extension du Port de Commerce de Galisbay, esquisse SETEC (à Gauche) et le plan masse des opérations de dragage pour un chenal à -9m (à droite).

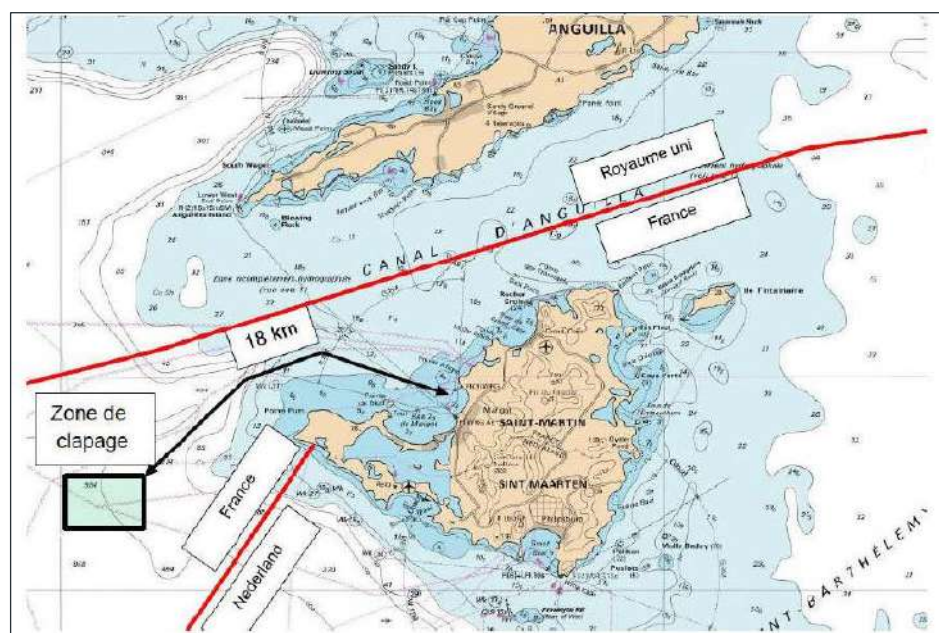


Figure 1.2 : Localisation de la zone d'immersion pré-identifiée dans l'étude d'impact d'EGIS 2017.

Dans ce cadre, un Dossier d'Autorisation Environnementale Unique (DAEU) doit être réalisé conformément au Code de l'Environnement. Le groupement GAIA – Impact-Mer – DHI – Birds&Birds a été mandaté pour réaliser les études réglementaires et assurer une mission d'assistance à maîtrise d'ouvrage pour la passation et le suivi des études d'investigations océanographiques et du milieu biologique.

DHI est en charge des études de modélisations hydro-sédimentaires dans le but d'évaluer les impacts potentiels des panaches turbides générés lors des opérations de dragages dans la baie de Galisbay mais également au large lors des clapages. Ces études s'intègrent dans deux phases principales du projet :

- Phase 2 : Choix de la zone d'immersion
 - Phase 2A : Mise en place d'un modèle régional de Courantologie (et de vagues) pour avoir une compréhension globale des conditions météo-océaniques au large et devant Galisbay
 - Phase 2C : Modélisation de la dispersion des panaches turbides sur deux zones d'immersion potentielles pour alimenter l'analyse multicritères devant mener au choix de la zone d'immersion.

- Phase 5 : Mise en place d'un modèle local à plus haute résolution pour réaliser, pour plusieurs scénarios météo-océaniques :
 - Modélisations plus précises des opérations de clapages au large
 - Modélisations des panaches turbides générés lors des travaux de dragages, pour les différentes méthodes et les différents matériaux dragués
 - Etude de la stabilité du chenal et estimation des dragages d'entretien

- En tranche Optionnelle 3 : Modélisation du cycle complet des dragages-immersions sur la saison complète des opérations.

Ce rapport présente les résultats de la Phase 5D, sur l'étude de la stabilité du chenal et des dragages d'entretien.

2 Plan du projet

La Figure 2.1 présente la configuration projet considérée dans le cadre de la présente étude : aménagement d'un quai croisière, extension du port de commerce et dragage du chenal d'accès.

Le niveau de dragage prévu est de -9 m CM partout dans le chenal d'accès, le cercle d'évitage, les futurs postes à quai et la darse d'accostage des navires croisières comme le montre la figure ci-dessous (Réf. /8/).

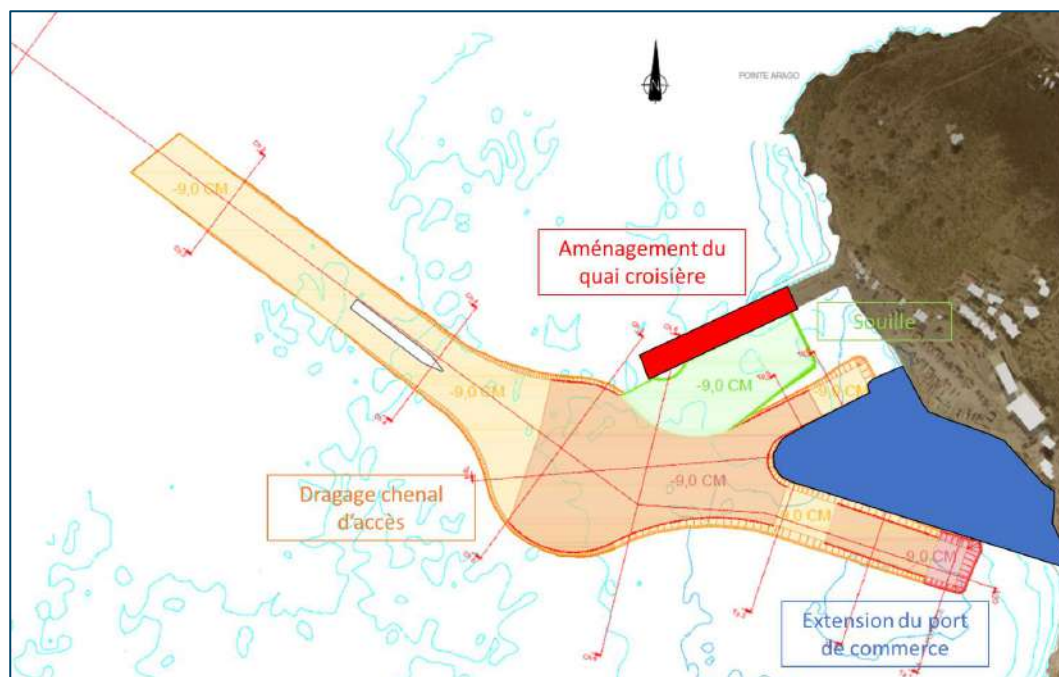


Figure 2.1 : Plan du projet (Réf. /8/).

3 Conditions météo-marines sur le site d'étude

Cette section présente une brève description des conditions météo-marines générales du site à proximité du site d'étude aux points situés en Figure 3.1. Le point « Roses » est situé à environ 1,5 km au nord-ouest du futur quai croisière.

Des descriptions bien plus complètes des climats de vents, vagues et courants du site sont présentées en Réf. /4/.



Figure 3.1 : Localisation des roses des vents, vagues et courants présentées ci-après, ainsi que du marégraphe de Galisbay.

3.1 Vents

La rose des vents au large du site, à l'entrée de la baie de Galisbay, est présentée en Figure 3.2. La direction de provenance dominante du vent est l'est.

Seulement 2% des vents sont inférieurs à 2 m/s (7 km/h), mais 37% sont compris entre 6 et 8 m/s (20-30 km/h). De plus, 5% des vents sont supérieurs à 10 m/s (36 km/h).

Ces données de vent proviennent de la base de données Climate Forecast System Version 2 (CFSV2), NCEP, NOAA et couvre la période 2010 – 2020.

Saint-Martin se trouve dans la zone de l'Atlantique où se développent et passent des dépressions cycloniques. La saison des cyclones dure essentiellement de juillet à octobre, avec une période de forte fréquence en août et septembre (Réf. /3/).

Depuis 2010, les derniers cyclones ayant affecté l'île sont (Figure 3.3) :

- Irma, le 6 septembre 2017. Ouragan de classe 5
- Gonzalo, le 13 octobre 2014. Ouragan de classe 1
- Earl, le 31 août 2010. Ouragan de classe 3

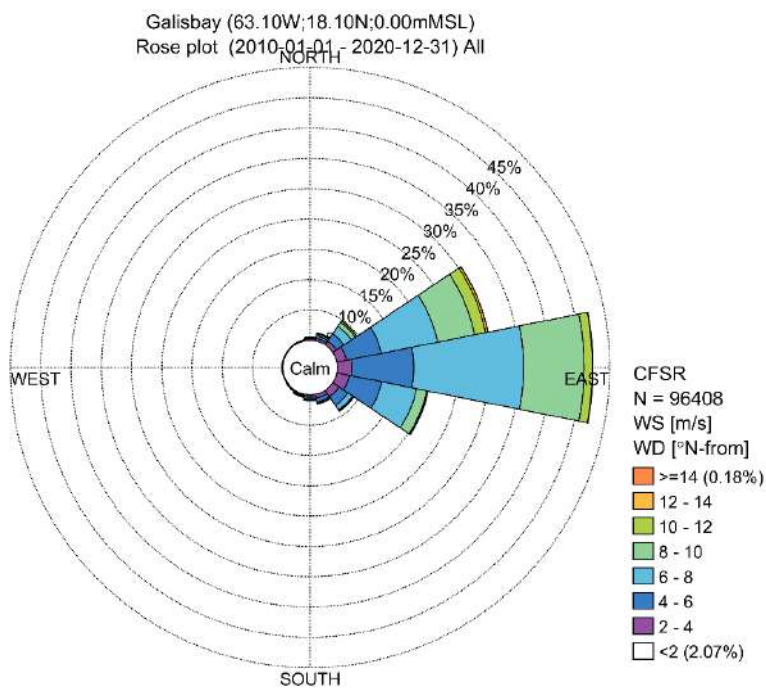


Figure 3.2 : Rose des vents CFSv2 2010 – 2020 à l'entrée de la baie de Galisbay.

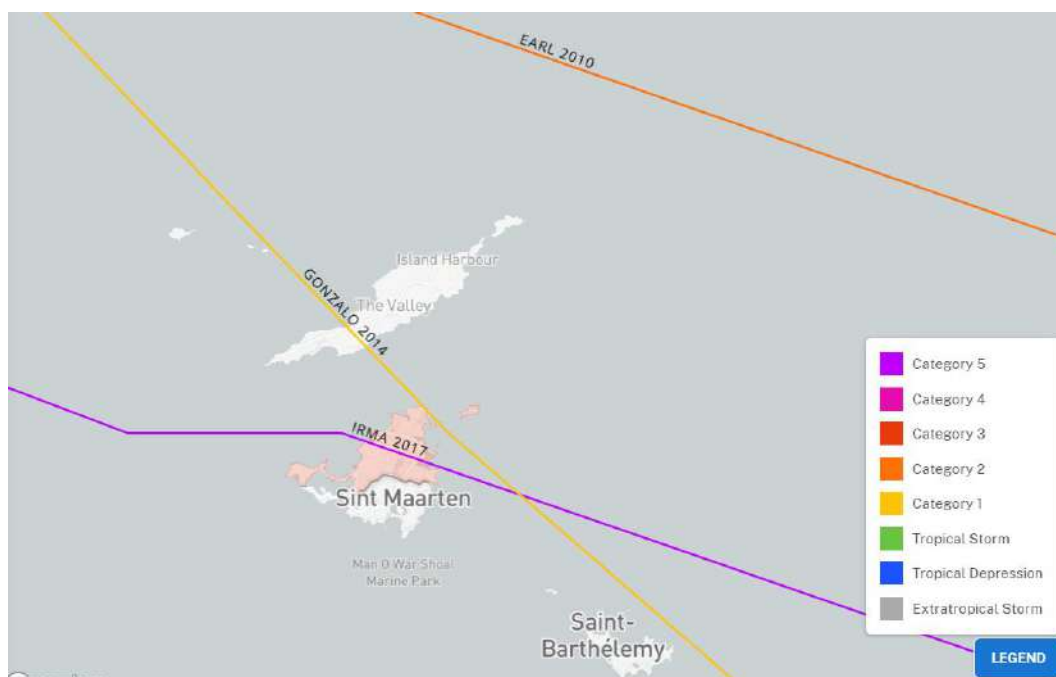


Figure 3.3 : Trajectoire des derniers cyclones ayant affectés Saint-Martin : Earl (2010), Gonzalo (2014) et Irma (2017). [Historical Hurricane Tracks \(noaa.gov\)](https://www.noaa.gov)

3.2 Vagues

La Figure 3.4 illustre la rose des vagues à l'entrée de la baie de Galisbay.

Cette rose repose sur des données extraites d'un modèle hindcast de propagation des vagues développé par DHI dans le cadre de la présente étude (cf. Réf. /5/) et couvre la période 2011 – 2021. Ce modèle a été validé suite à la campagne de mesures menée par Nortekmed d'avril à septembre 2022.

Les vagues proviennent majoritairement du nord-est (50% d'entre elles sur la période 2011 – 2021). Les événements provenant du nord au nord-ouest sont plus rares, mais les hauteurs de vagues les plus élevées proviennent régulièrement de ce secteur.

Sur la période 2011 – 2021, 50% des vagues sont inférieures à 50 cm à l'entrée de la baie.

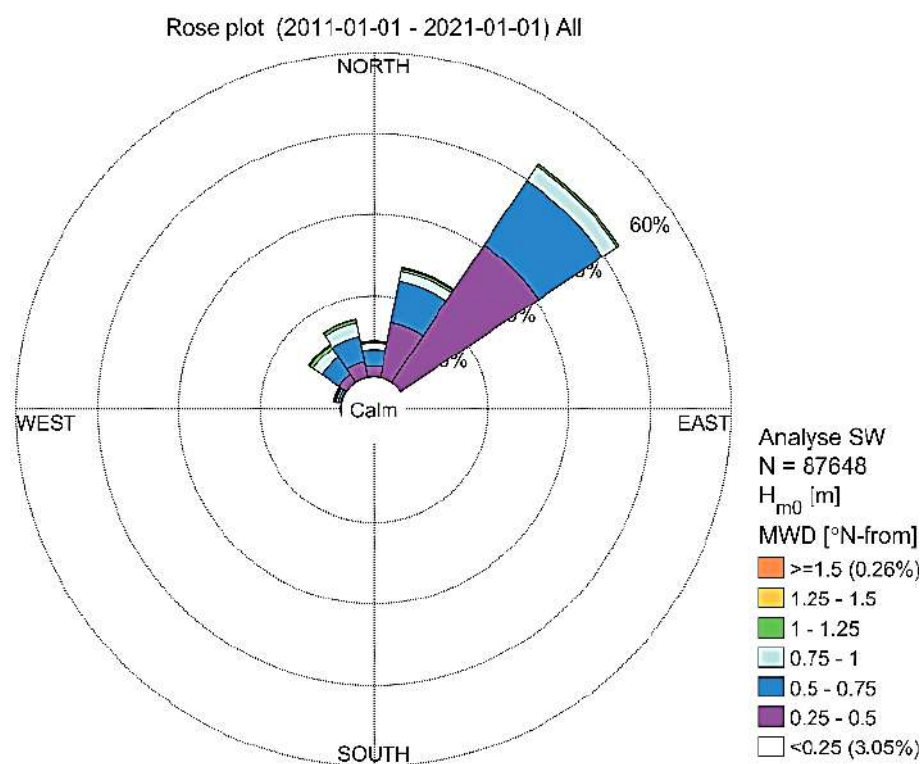


Figure 3.4 : Rose des vagues 2011 – 2021 à l'entrée de la baie de Galisbay.

3.3 Niveaux marins

A Saint-Martin, la marée théorique est de type semi-diurne à inégalité diurne, et de marnage relativement faible : 0,25 m en vive-eau, et jusqu'à un maximum de 0,60 m en vive-eau extrême selon le RAM 2020 du SHOM (Tableau 3.1).

Également d'après ce document, la cote marine CM = 0,360 + IGN 88.

Tableau 3.1 : Références Altimétriques à Saint-Martin (SHOM, RAM 2020). PHMA : Plus Hautes Mer Astronomiques ; PBMA : Plus basses Mers Astronomiques ; NM : Niveau Moyen ; ZH : Zéro Hydrographique.

Nom	Type	Lat.	Long.	Et.	Année CH	PHMA	PMVE	NM	BMVE	PBMA
Saint-Martin Marigot ¹	R	18 04 N	63 05 W		2012	00.83	00.65	00.53	00.40	00.23
Saint-Martin et Saint-Barthélemy										

Nom	Repère fondamental	Organisme	Date	RF/ZH	RF/Ref	ZH/Ref	ZH/Elli	Ref
Saint-Martin Marigot ¹	AS-16	IGN	1988	22.099	21.739	-0.360	-43.71	IGN88
Saint-Martin et Saint-Barthélemy								

Les niveaux d'eau à Galisbay dépendent aussi fortement des conditions météocéniques (vent, pression atmosphérique, onde de tempête, circulation générale et dynamique à plus grande échelle spatiale (bassin Nord Atlantique) et temporelle (annuelle)).

Les niveaux marins mesurés par le marégraphe de Saint-Martin (port de Galisbay) au cours de l'année 2002 sont présentés en Figure 3.5.

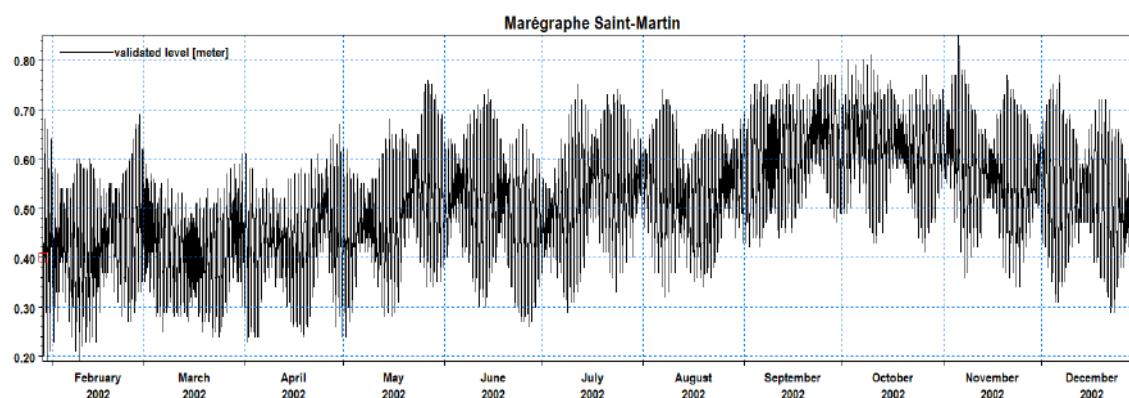


Figure 3.5 : Niveaux d'eau mesurés en 2002 au marégraphe de Saint-Martin (en m par rapport au ZH). Données validées mises à disposition sur le site REFMAR.

3.4 Courants

La Figure 3.6 présente la rose des courants moyennés sur la colonne d'eau à l'entrée de la baie de Galisbay, sur la période 2011 – 2021.

Cette rose repose sur des données extraites d'un modèle hindcast régional de courantologie 3D développé par DHI dans le cadre de la présente étude (cf. Réf. /4/). Ce modèle a été validé suite à la campagne de mesures menée par Nortekmed d'avril à septembre 2022.

Dans le canal d'Anguilla, la masse d'eau est assez homogène sur la verticale (en courant, température et salinité) du fait de hauteurs d'eau faibles. Comme les vents dominants viennent du secteur est-nord-est, les courants dominants dans le canal d'Anguilla portent à l'Ouest (du Sud-Ouest au Nord-Ouest, selon le secteur dans le détroit). Cependant leur intensité varie fortement et des inversions vers l'Est peuvent aussi avoir lieu : lorsque les vents faiblissent (le courant de marée de jusant portant à l'est peut alors s'exprimer dans le détroit) ou lorsque les vents tournent au secteur ouest-nord-ouest, favorisant alors la circulation entre les îles vers l'Est.

En baie de Galisbay, la circulation est typiquement faible et essentiellement d'est en ouest.

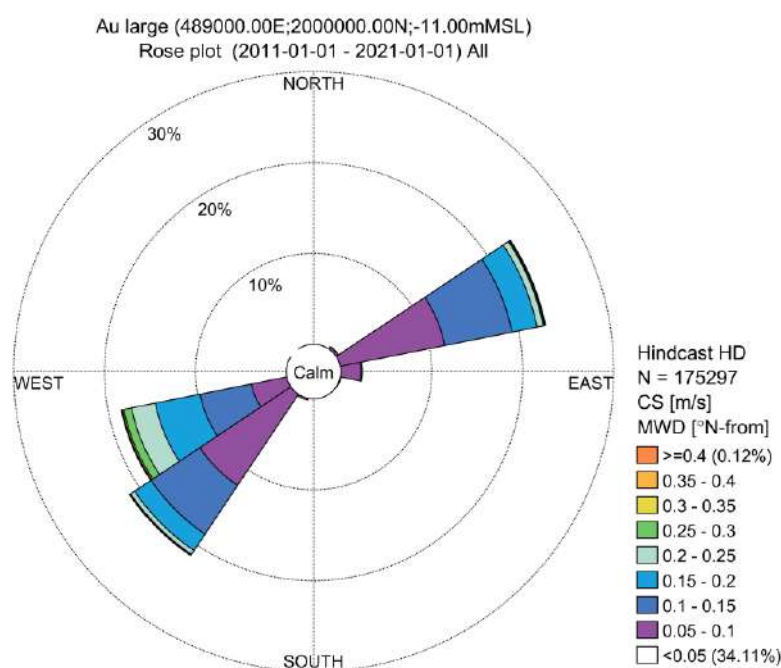


Figure 3.6 : Rose des courants moyennés sur la verticale 2011 – 2021 à l'entrée de la baie de Galisbay.

3.5 Caractéristiques sédimentaires et nature des fonds

3.5.1 Matières en suspension

La turbidité naturelle de la baie de Galisbay a été évaluée dans le cadre de 4 études (campagnes de mesures ou photos satellitaires) :

- GREGSAT 1990 (14 stations de mesures de la Baie de la Potence à la Pointe d'Arago),
- CEMINAG 2003 (11 stations),
- PARETO 2006 (3 stations au droit de la Pointe Arago et de la zone portuaire, dont une station témoin située plus au large),
- I-Sea 2021 (interprétation de photos satellitaires)

La charge particulaire est apparue modérée lors de mesures réalisées par PARETO en 2006 sur les trois stations au Nord de la baie (de **< 2 à 7 mg/L pour la charge en MES** ; de 0,20 à 0,38 NTU pour la turbidité). Elle était toutefois trois fois inférieure sur la station témoin plus au large que sur les deux autres stations, révélateur d'une dérive sédimentaire littorale relativement importante sur la zone. La Pointe Arago, et dans une moindre mesure la digue du Port de Commerce, dévierait de manière sensible le transit sédimentaire vers le Sud-Ouest (effet de « pointe »).

Cette observation semble confirmée par les teneurs en MES obtenues lors des mesures de courant réalisées par le GREGSAT en 1990 (Bougis, 2003). Trois zones à taux de MES plus élevés avaient été mises en évidence :

- À l'Est de la baie (confirmé par la présence sur les photos aériennes de la zone, d'une nappe turbide allongée du Nord au Sud sous l'action du courant de surface),
- Au niveau du secteur périphérique du banc de Médée (remise en suspension des sédiments fins par la houle et le clapot),
- Au niveau du secteur Sud de la baie, au Nord de la Pointe du Fort de Marigot (faible hydrodynamisme, « atterrissage » d'une partie de la charge turbide du courant de dérive balayant le fond de la baie).

Les mesures de transparence de l'eau réalisée au disque de Secchi en 2003 (CEMINAG) ont mis en évidence une **meilleure transparence des eaux sur les stations les plus au large (20 m) que sur les stations les plus côtières (5 à 8 m)**, témoignant d'apports terrigènes ou d'une remise en suspension des sédiments littoraux par la houle.

3.5.2 Nature des fonds et répartition des sédiments

Une cartographie de la nature des fonds de la Grand'Baie de Marigot a été réalisée par I-Sea en 2021 (Figure 3.7).

De manière générale, les stocks sédimentaires dans la baie sont relativement peu importants et essentiellement répartis le long du trait de côte. Les fonds marins sont abondamment colonisés par des herbiers, mais ceux-ci sont partiellement envasés.

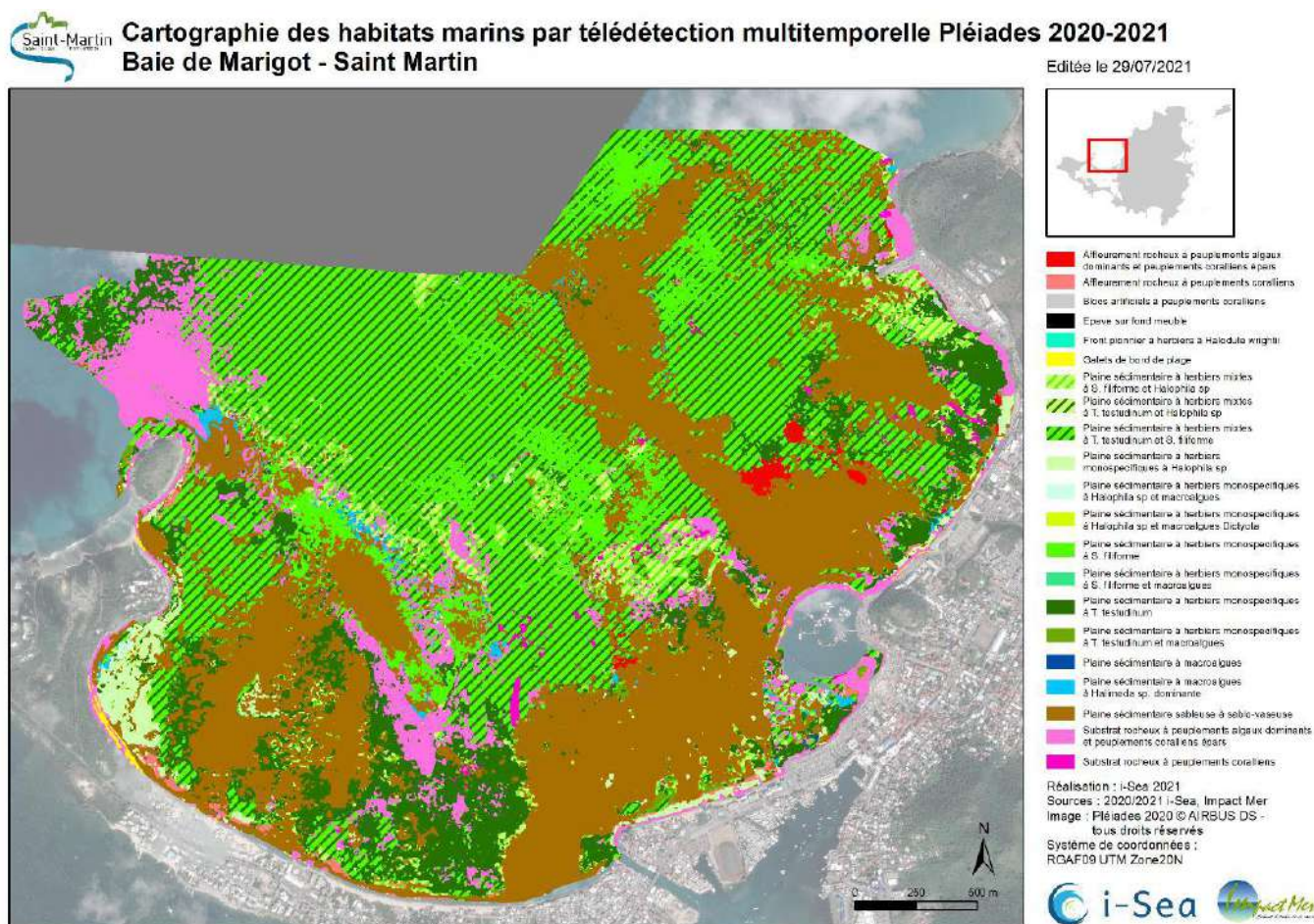


Figure 3.7 : Cartographie des habitats marins de la Grand'Baie de Marigot (Réf. /6/).

3.5.3 Données granulométriques

3.5.3.1 D'après PARETO, 2013

Des prélèvements de sédiments superficiels ont été effectués par Pareto du 3 au 4 juin 2013 (Réf. /7/), en plongée avec un carottier à piston de 50 cm de long. Le tracé du projet en Figure 3.8 correspond à celui de 2017, qui a été abandonné.

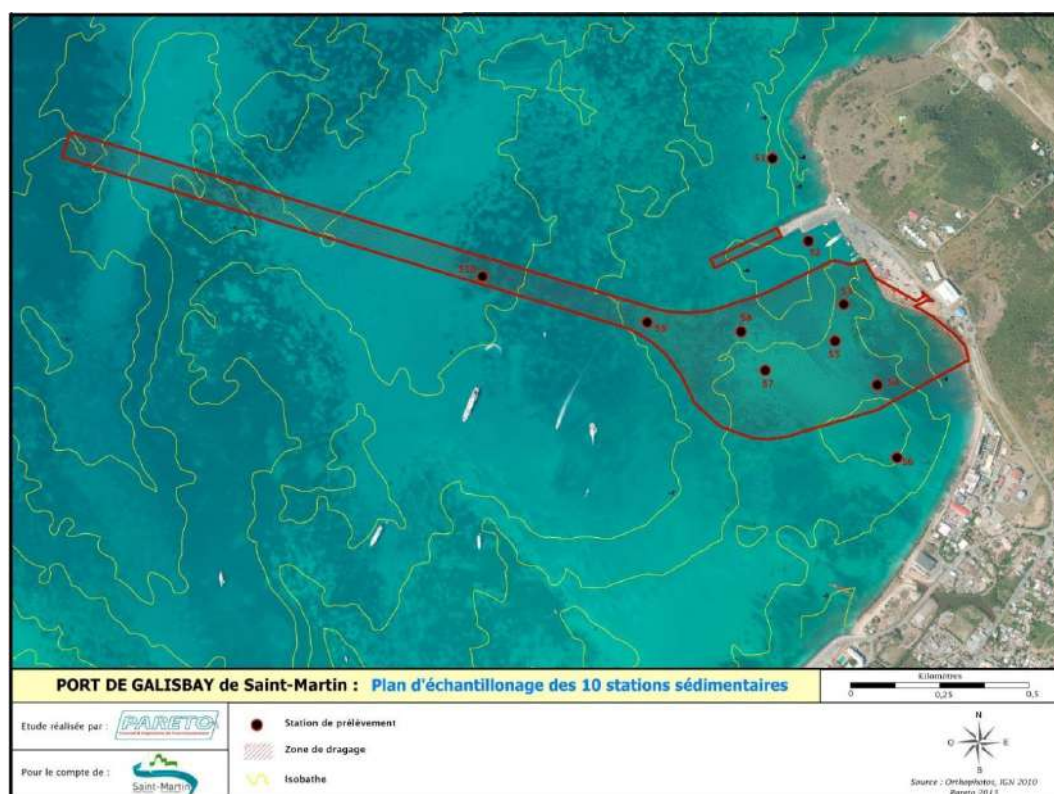


Figure 3.8 : Plan d'échantillonnage des 10 stations de prélèvements (Réf. /7/).

3.5.3.2 D'après Antilles GEOTECHNIQUE, 2016 et 2020

Des sondages carottés ont été réalisés en 10 points en 2016 et en 2020 (Réf. /1/), puis en 2020 (Réf. /2/), de 0,5 m sous la surface jusqu'à 11,5 m sous le fond.

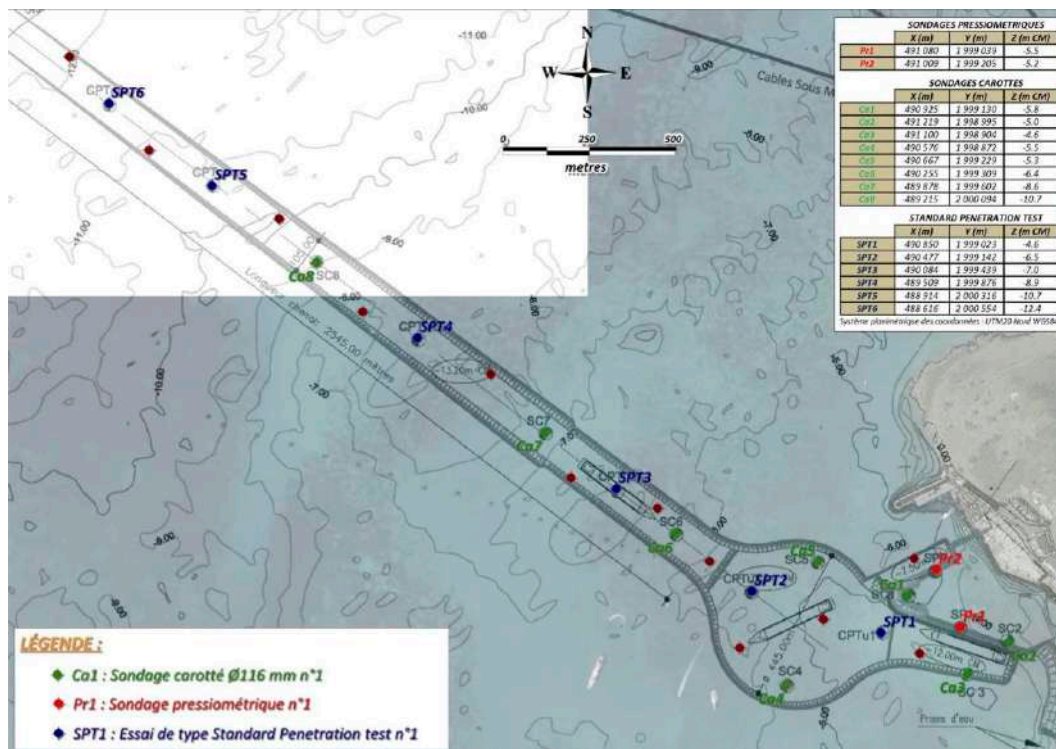


Figure 3.9 : Plan d'implantation des reconnaissances géotechniques d'Antilles GEOTECHNIQUE 2016 (Réf. /1/).

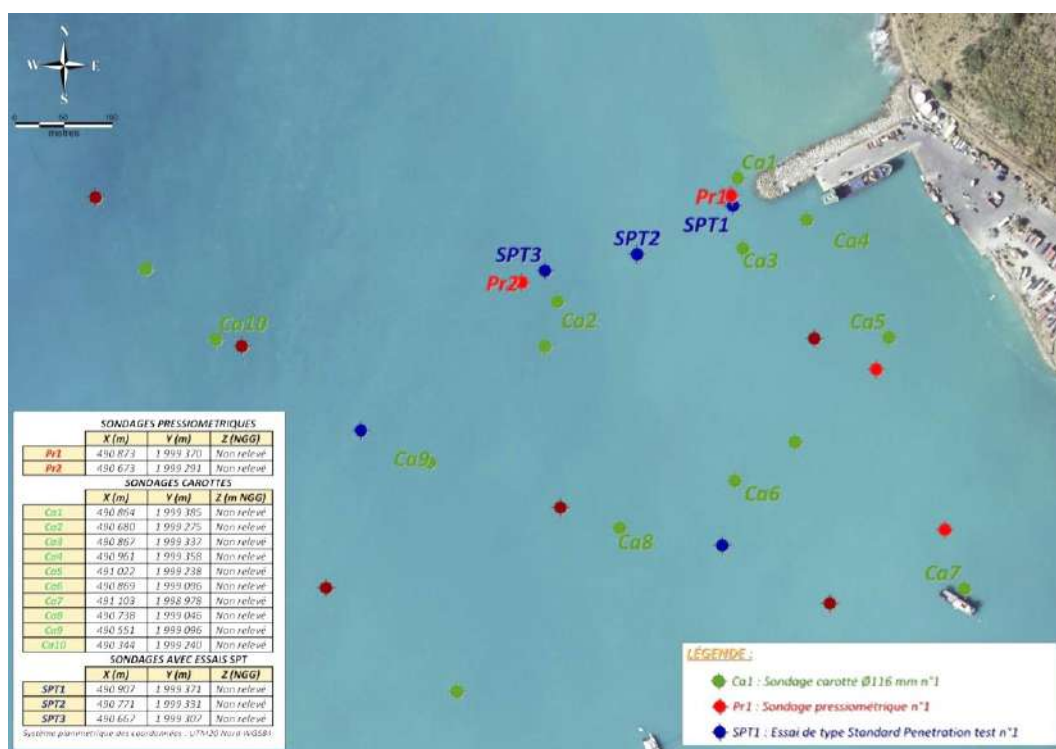


Figure 3.10 : Plan d'échantillonnage des sondages carottés d'Antilles GEOTECHNIQUE 2020 (Réf. /2/).

4 Le modèle hydrosédimentaire de la baie de Galisbay

Le modèle hydrosédimentaire 2D de la baie de Galisbay consiste en un couplage dynamique des trois modules SW (propagation des vagues), HD (hydrodynamique) puis MT (transport sédimentaire cohésif, permettant également de prendre en compte une fraction sédimentaire non-cohésive) de la suite MIKE 21. Ce couplage dynamique permet de prendre en compte, dans le calcul de la capacité de transport sédimentaire, à la fois l'effet des vagues, des courants et en particulier des courants de déferlement liés aux vagues, et les variations de niveau marin (marée) sur la propagation des vagues.

Dans le cadre de cette étude portant sur la stabilité du chenal, ce modèle a été exploité sur trois périodes différentes :

- Une année type de référence (1 an)
- L'ouragan Irma (septembre 2017, catégorie 5) (2 semaines)
- L'ouragan Gonzalo (octobre 2014, catégorie 1) (2 semaines)

La description du modèle, le choix de l'année type de référence et les forçages appliqués pour modéliser ces trois périodes sont détaillés ci-après.

4.1 Emprise et maillage du modèle hydrosédimentaire

L'emprise, la bathymétrie interpolée et le maillage du modèle hydrosédimentaire de la baie de Galisbay sont présentés en 4.1 et en Figure 4.2.

Les données bathymétriques utilisées proviennent du Litto3D de Saint-Martin (SHOM, 2019).

La résolution horizontale du maillage varie d'environ 50 m au large à environ 15 m sur le site du projet.

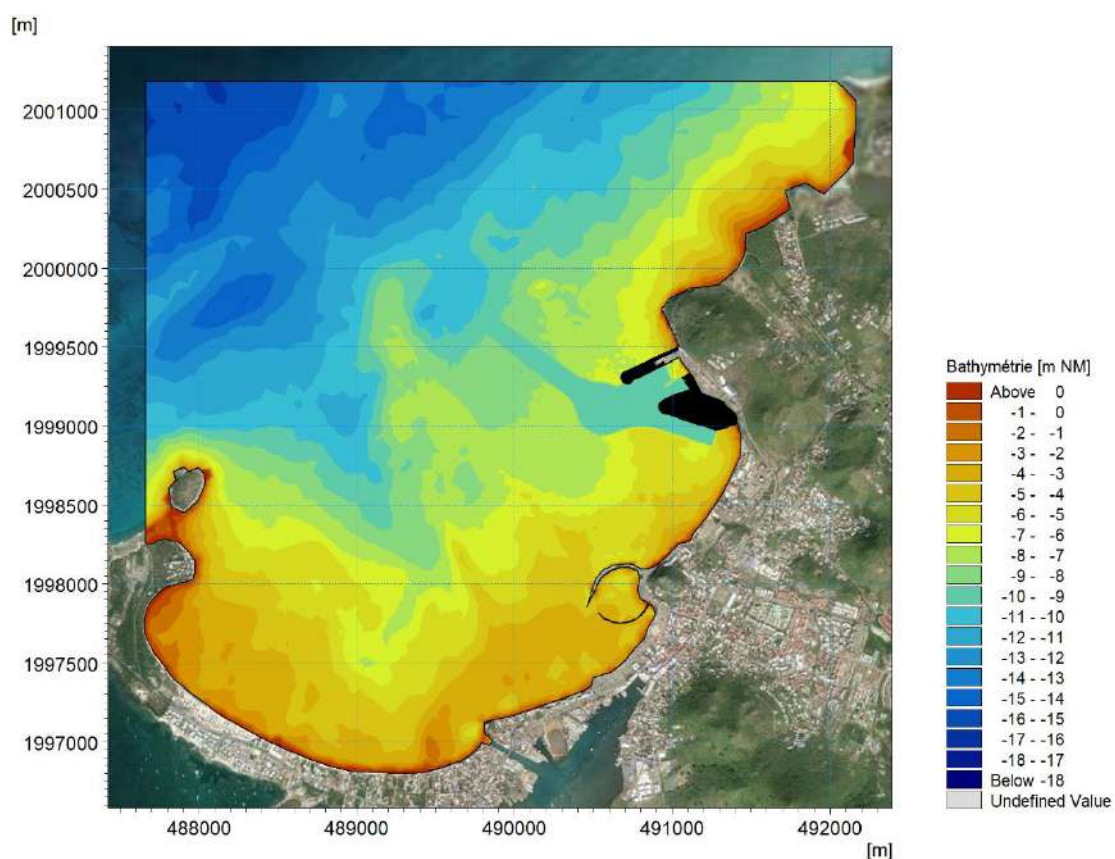


Figure 4.1 : Emprise et bathymétrie interpolée du modèle hydrosédimentaire de la baie de Galisbay.

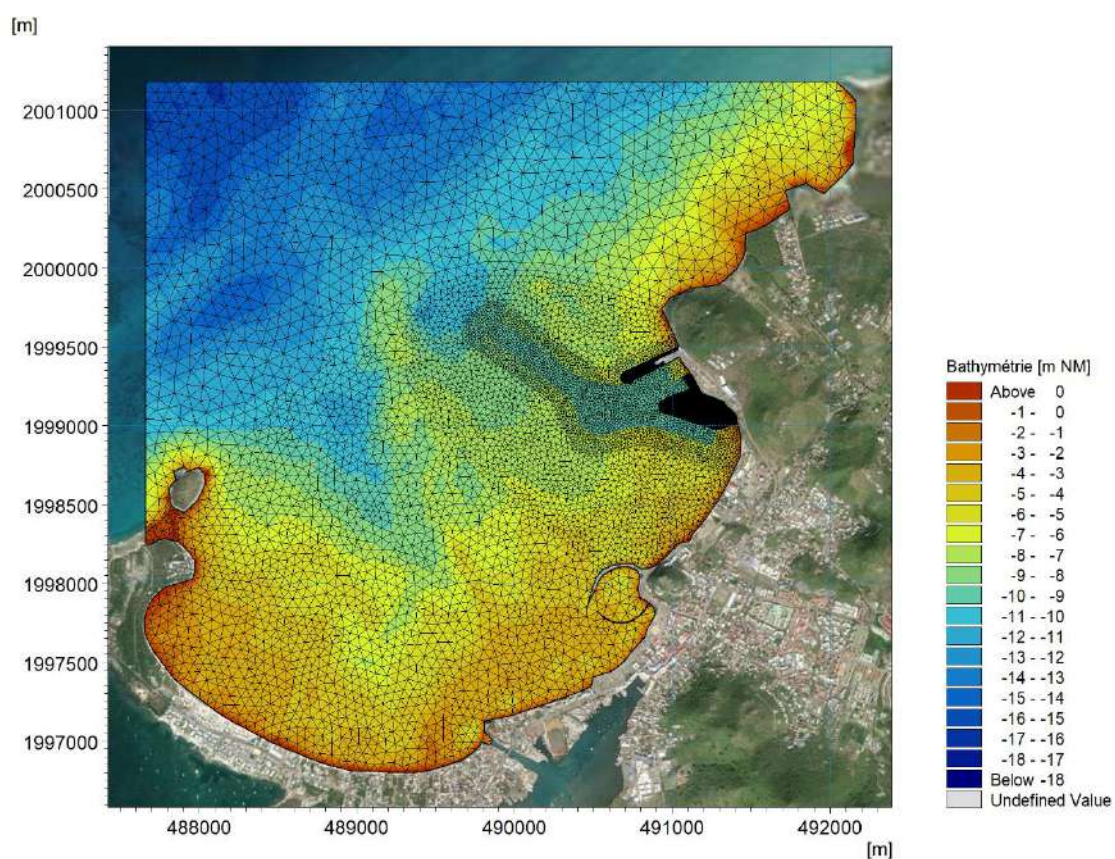


Figure 4.2 : Maillage du modèle hydrosédimentaire de la baie de Galisbay.

4.2 Les forçages du modèle

4.2.1 Année type de référence

L'année type de référence a été sélectionnée sur la période 2010 – 2020, sur la base de l'analyse des conditions annuelles de vent (Section 3.1), de vagues (Section 3.2) et de courants marins (Section 3.4).

A partir de cette analyse, l'année 2012 a été retenue comme année type représentative de la climatologie générale 2010 – 2020 du site (Figure 4.3 et Figure 4.4)

Les simulations réalisées sur cette année type de référence utilisent comme forçage météocéanique les bases de données décrites ci-après en Section 4.2.1.1, Section 4.2.1.2 et Section 4.2.1.3.

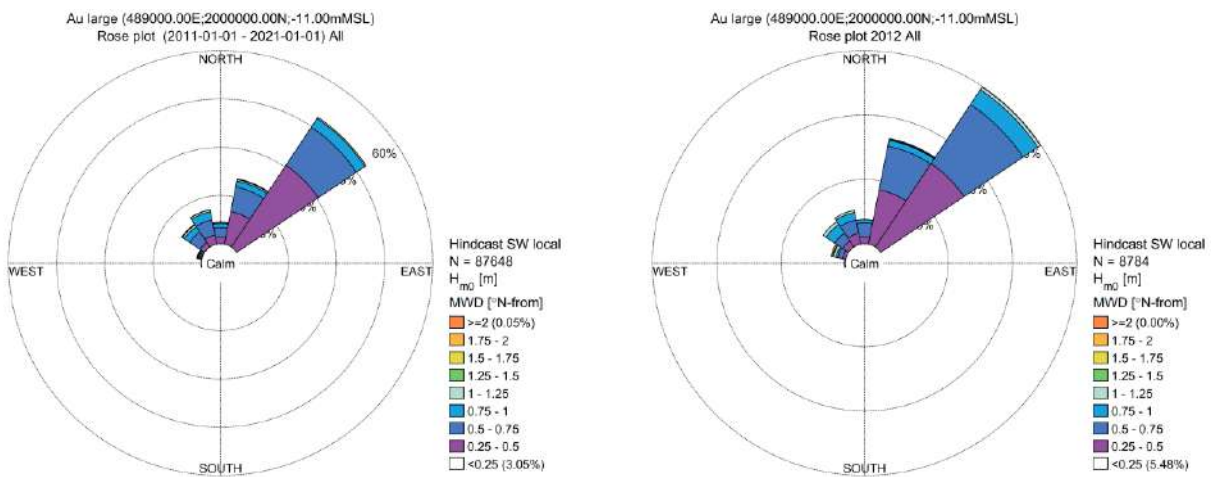


Figure 4.3 : Roses des vagues au large de la baie de Galisbay : 2011-2021 (gauche) et 2012 (droite).

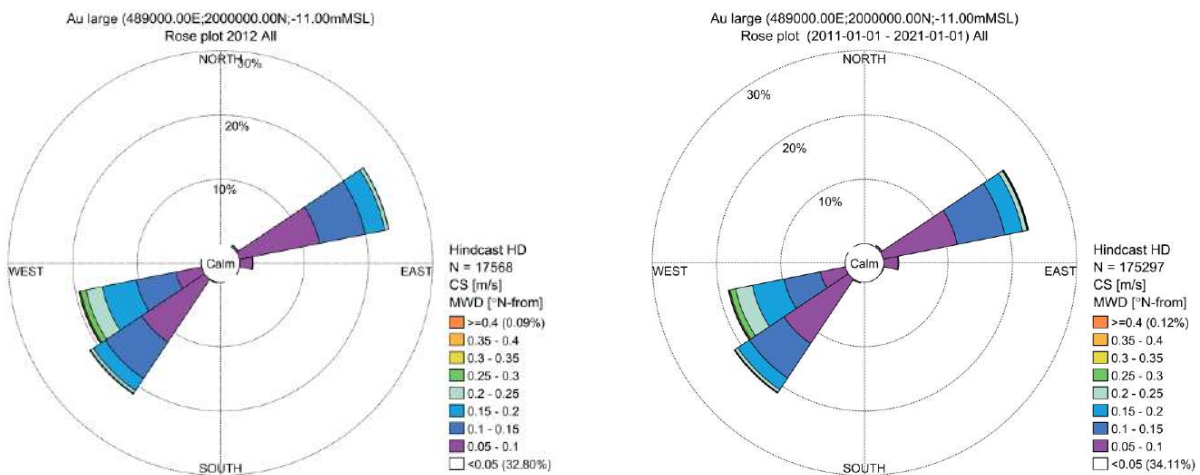


Figure 4.4 : Roses des courants moyens sur la verticale au large de la baie de Galisbay : 2011-2021 (gauche) et 2012 (droite).

4.2.1.1 Le forçage météorologique

Le modèle hydrosédimentaire de la baie de Galisbay est forcé par le vent de la base de données opérationnelle du Climate Forecast System Version 2 (CFSV2), NCEP, NOAA (cf. rose présentée en Figure 3.2).

4.2.1.2 Les conditions de vagues

Les conditions de vagues appliquées aux limites du modèle hydrosédimentaire de la baie de Galisbay sont issues des résultats du modèle hindcast de propagation des vagues du Canal d'Anguilla développé par DHI dans le cadre de la présente étude. Ce modèle a été validé suite à la campagne de mesures menée par Nortekmed d'avril à septembre 2022 (cf. Réf. /5/).

4.2.1.3 Les niveaux marins

Les niveaux marins appliqués au modèle hydrosédimentaire de la baie de Galisbay proviennent du modèle régional de courantologie 3D développé par DHI dans le cadre de la présente étude. Ce modèle a été validé suite à la campagne de mesures menée par Nortekmed d'avril à septembre 2022 (cf. Réf. /4/).

4.2.2 Ouragans

Deux conditions cycloniques ont été modélisées dans le cadre de la présente étude :

- Une condition cyclonique de catégorie 5 : l'ouragan Irma du 6 septembre 2017 (modélisation sur 2 semaines, du 01/01/2017 au 14/09/2017)
- Une condition cyclonique de catégorie 1 : l'ouragan Gonzalo du 13 octobre 2014 (modélisation sur 2 semaines, du 10/10/2014 au 24/10/2014)

La base de données de vent CFSV2 n'est pas adaptée à la modélisation précise de ce type d'événement, du fait de sa résolution spatiale et temporelle trop grossière pour représenter finement la variabilité spatiale et temporelle des champs de vent et de pression atmosphérique.

Les champs de vent et de pression atmosphérique utilisés comme condition de forçage pour la modélisation des ouragans ont été générés à l'aide de l'outil MIKE 21 Cyclone Wind Generation Tool. Cet outil calcule les champs de vent et de pression générés par un cyclone tropical (ouragan ou typhon) à partir de modèles paramétriques simples, basés sur les informations suivantes : la position de l'œil du cyclone en fonction du temps, le rayon des vents maximums, la pression au centre du cyclone, et des paramètres de calage. Les informations sur les cyclones ont été extraites de la bibliographie (DEAL, 2019) ainsi que de la base de données Best Track, disponible aux liens suivants :

- Irma : [IBTrACS - International Best Track Archive for Climate Stewardship \(unca.edu\)](https://www.unca.edu/ibtracs/)
- Gonzalo : [IBTrACS - International Best Track Archive for Climate Stewardship \(unca.edu\)](https://www.unca.edu/ibtracs/)

Les champs de vent et de pression ainsi générés ont été utilisés pour forcer, selon le principe des modèles emboîtés, le modèle régional de Galisbay, dont les résultats ont servi à forcer le modèle du Canal d'Anguilla, qui lui-même a fourni les conditions de vagues, courants et niveaux marins au modèle hydrosédimentaire de Galisbay.

L'approche adoptée a pu être validée grâce aux mesures de niveau marin du marégraphe de Saint-Martin pendant l'événement Irma (Figure 4.5). Les niveaux marins reproduits par les modèles forcés MIKE 21 Cyclone Wind Generation permettent de représenter de façon tout à fait correcte la surcote de l'événement Irma. Les mesures ont enregistré un niveau marin maximal de 1,56 m NM. Le modèle sous-estime légèrement avec un niveau marin maximal de 1,42 m NM. A noter qu'une approche classique basée sur l'utilisation du vent CFSV2 comme

forçage atmosphérique sur l'événement Irma ne permet d'obtenir un niveau marin maximal que de l'ordre de 0,20 m NM.

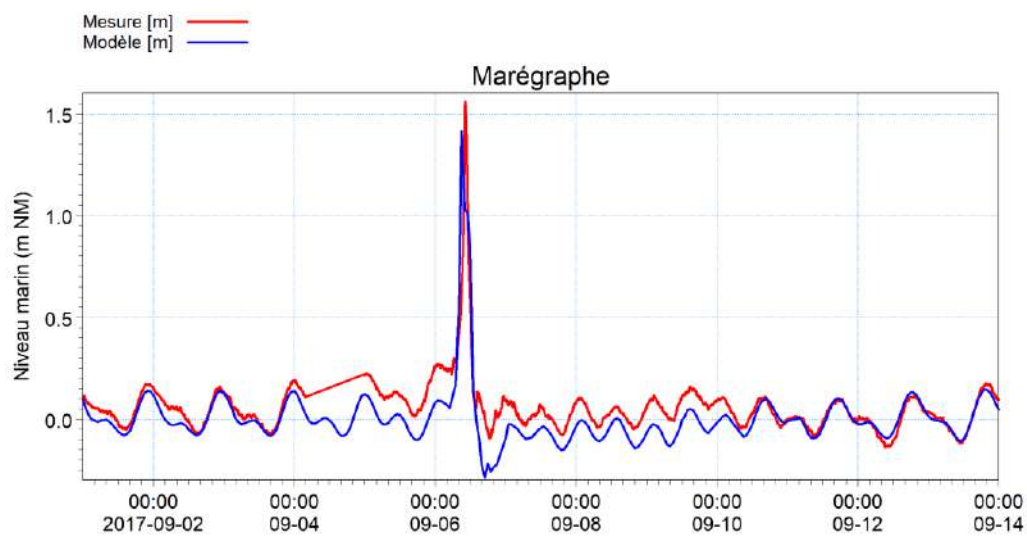


Figure 4.5 : Comparaison modèle – mesure des niveaux marins (en m NM, Niveau Moyen) au marégraphe de Saint-Martin pendant l'événement Irma

4.3 Paramétrisation du modèle sédimentaire

Le modèle hydrosédimentaire de la baie de Galisbay a été construit de façon à représenter la dynamique des différents types de sédiments présents dans la baie, à savoir :

- les sédiments fins cohésifs
- les sédiments sableux plus grossiers.

Pour cela, trois fractions sédimentaires ont été incluses dans le modèle, avec les caractéristiques données dans le Tableau 4.1.

Tableau 4.1 : Fractions sédimentaires considérées dans le modèle

Fractions sédimentaire	Granulométrie équivalente	Dynamique sédimentaire
Fines	14 μm	Transport en suspension Vitesse de chute variable (floculation) : min : 0.17 mm/s max : 7 mm/s
Sables fins	140 μm	Transport en suspension Vitesse de chute constante : 17 mm/s
Sables grossiers	900 μm	Transport près du fond, charriage dominant (très peu en suspension)

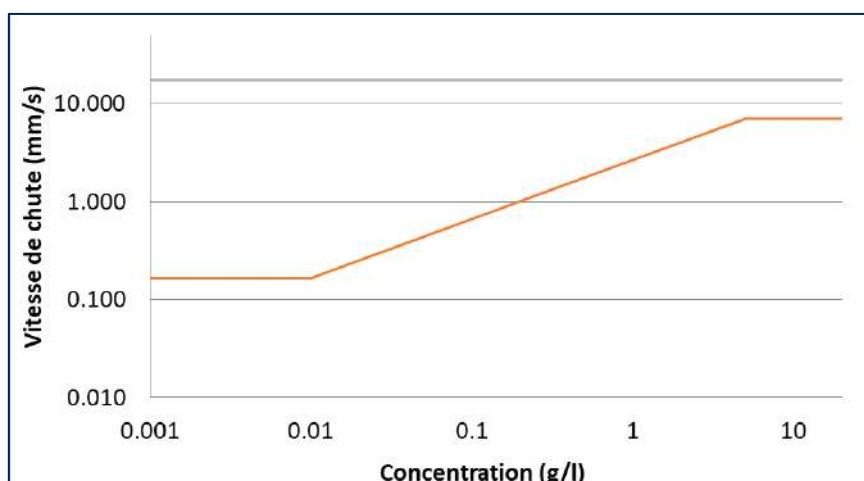


Figure 4.6 : Vitesses de chute des sédiments cohésifs : fines en orange, sables fins en gris

Ces sédiments sont inclus dans le modèle de deux façons différentes :

- en suspension (apports du large)
- dans le lit sédimentaire (sédiment naturellement déposé dans la baie)

Les sédiments en suspension sont représentés par des apports constants aux frontières du modèle avec une concentration de 2 mg/L. En fonction des conditions hydrodynamiques, ces sédiments se dispersent ou se déposent dans le modèle, avant d'être éventuellement remis en suspension par des coups de mer.

Les sédiments présents dans le lit sédimentaire sont renseignés dans le modèle sous la forme d'une cartographie donnant la localisation et la répartition des différentes fractions sédimentaires en fonction des secteurs. La répartition des fractions sédimentaires repose sur l'analyse des données granulométriques disponibles à proximité de la surface (Tableau 4.2).

Les résultats de cette analyse sont donnés dans le Tableau 4.3 selon la profondeur d'analyse, de l'ordre de 10 à 20% de sédiments fins, pouvant être représentés par la fraction fines de

granulométrie équivalente 14 μm dans le modèle. Les analyses mettent en évidence la présence d'environ 10% de sables fins, représentés dans le modèle par la fraction de granulométrie équivalente 140 μm . Enfin, selon la profondeur d'analyse, environ 70 à 80% des sédiments peuvent être représentés par des sables grossiers de granulométrie 900 μm dans le modèle.

La répartition retenue dans le modèle est donnée dans le Tableau 4.4 : 10% de fines, 10% de sables fins et 80% de sables grossiers.

Tableau 4.2 : Analyse des granulométries « de surface ».

Source	Type d'analyse	Profondeur	Profondeur représentative	Nombre d'échantillons
PARETO 2013	Laser	[0m – 0.50 cm]	0.25 m	10
ANTILLES GEOTECHNIQUE 2016	Laser	0.5 m	0.5 m	12
ANTILLES GEOTECHNIQUE 2020	Laser	[0m – 2m]	1 m	8

Tableau 4.3 : Pourcentages des fractions fines, sables fins et sables grossiers d'après les analyses granulométriques

	Fines (14 μm)	Sables fins (140 μm)	Sables grossiers (900 μm)
Moyenne à 0,25 m de profondeur	8.9%	6.7%	84.4%
Moyenne à 0,25 et 0,5 m de profondeur	20.7%	10.3%	68.9%
Moyenne à 0,25, 0,5 et 1 m de profondeur	19.7%	11.1%	69.2%

Tableau 4.4 : Pourcentages des fractions fines, sables fins et sables grossiers retenus dans le modèle

Fines (14 μm)	Sables fins (140 μm)	Sables grossiers (900 μm)
10%	10%	80%

La carte sédimentaire appliquée dans le modèle a d'abord été initialisée comme illustré en Figure 4.7 à partir des informations sur la nature du fond (Figure 3.7).

Puis, un processus d'itération a été mis en œuvre pour obtenir une carte sédimentaire cohérente avec les conditions hydrodynamiques modélisées dans la baie de Galisbay. L'objectif étant que la dynamique sédimentaire modélisée dans les simulations de production pour l'étude de la stabilité du chenal corresponde aux cycles d'érosion/dépôts naturels sous l'effet de la variabilité des conditions hydrodynamiques, et non pas un ajustement du modèle à une répartition sédimentaire qui ne serait pas en équilibre.

Pour cela, l'année 2012 a été modélisée plusieurs fois consécutives à partir de la carte sédimentaire initiale présentée en Figure 3.7. Au fil des simulations, la répartition des sédiments converge vers la répartition naturelle des sédiments dans la baie sous l'effet des conditions hydrodynamiques modélisées. Ce processus a notamment pour effet de disperser les fines qui ne peuvent pas se maintenir dans des zones où l'hydrodynamique est trop forte.

La carte sédimentaire ainsi obtenue, et utilisée comme condition initiale des simulations de production, est illustrée en Figure 4.8.

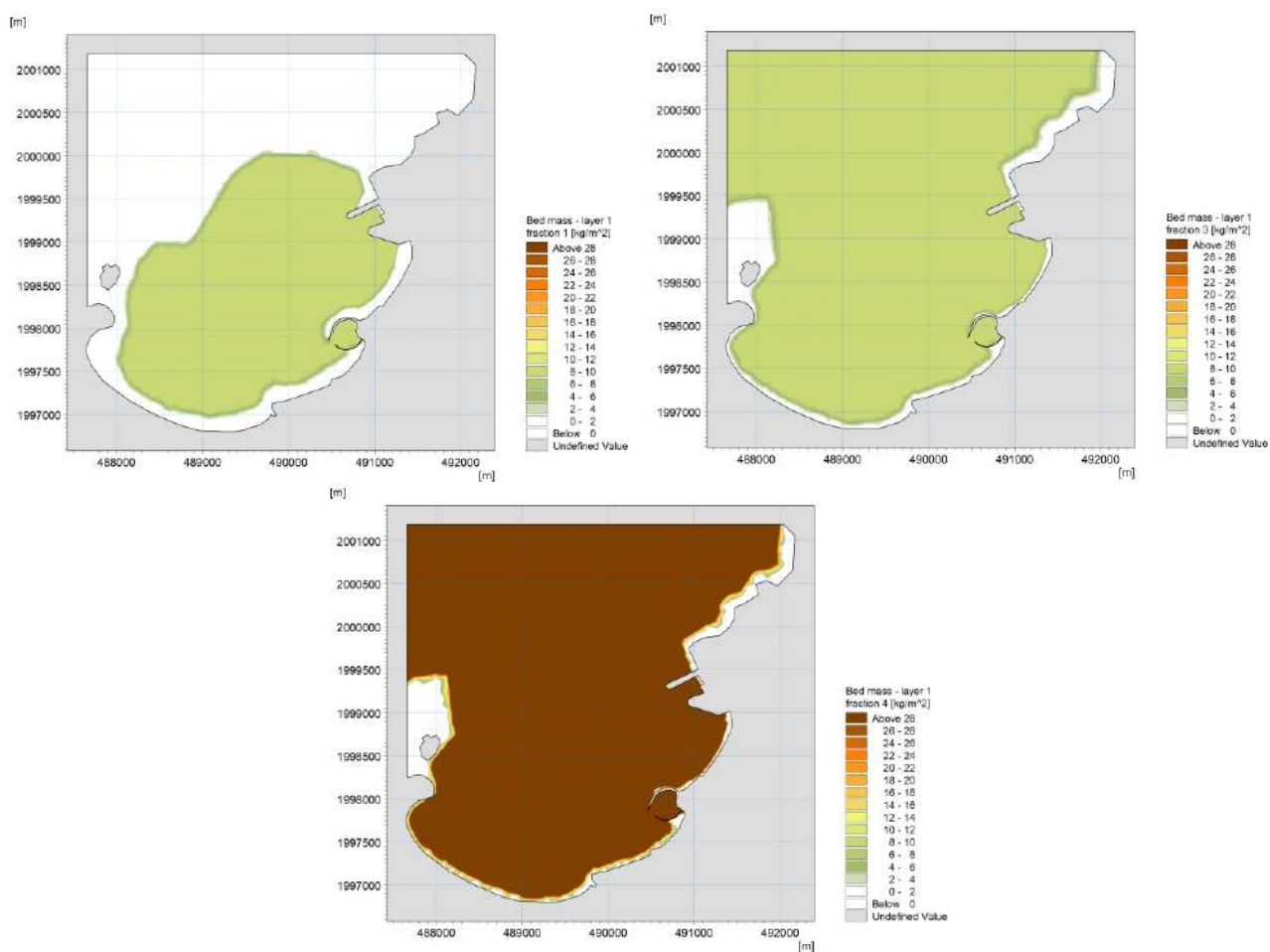


Figure 4.7 : Initialisation de la carte sédimentaire. Dans l'ordre : fines (10%), sables fins (10%), sables grossiers (80%)

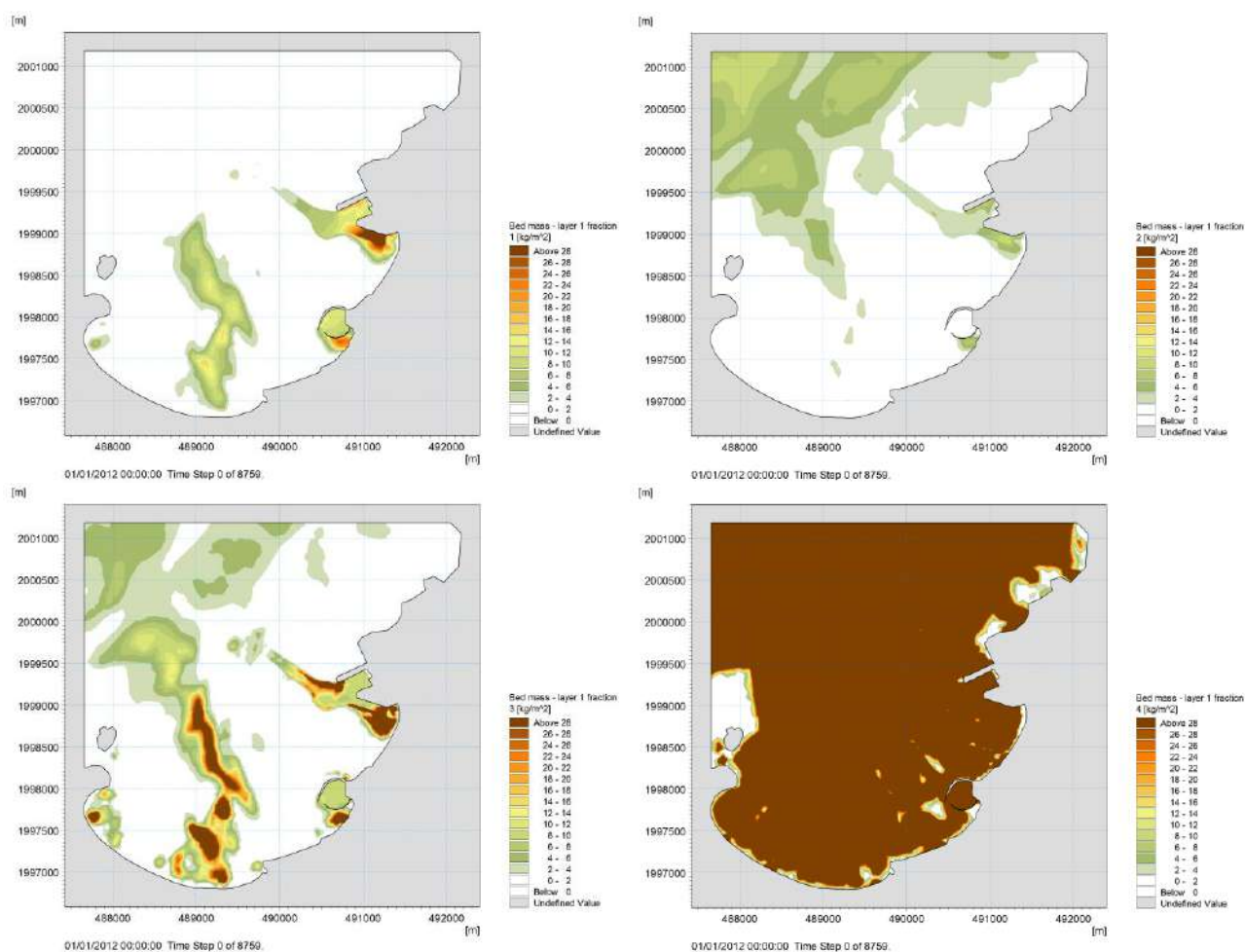


Figure 4.8 : Cartes sédimentaires obtenues après itérations. Dans l'ordre : fines dans la baie, fines venant du large, sables fins et sables grossiers.

5 Résultats de modélisation

5.1 Champs de vagues, courants et transport sédimentaire

La Figure 5.1, la Figure 5.2 et la Figure 5.3 ci-après illustrent respectivement les champs instantanés de propagation des vagues et des courants lors d'une tempête d'octobre 2012, ainsi que le champ de transport sédimentaire (sables grossiers uniquement) cumulé à la fin de la simulation sur l'année 2012.

La Figure 5.4, la Figure 5.5 et la Figure 5.6 illustrent les mêmes processus mais au cours de l'ouragan Irma de septembre 2017.

Les champs de transport sédimentaire illustrent la capacité de transport par charriage ainsi que pas suspension près du fond. Ici, pour les sables grossiers, le transport se fait essentiellement par charriage.

Ces champs illustrent que lors de l'ouragan Irma, la dérive cumulée s'effectue du nord-est vers le sud-ouest au niveau du chenal.

En 2012, la dérive sédimentaire cumulée est gouvernée par la tempête du nord-ouest du 30 octobre 2012.

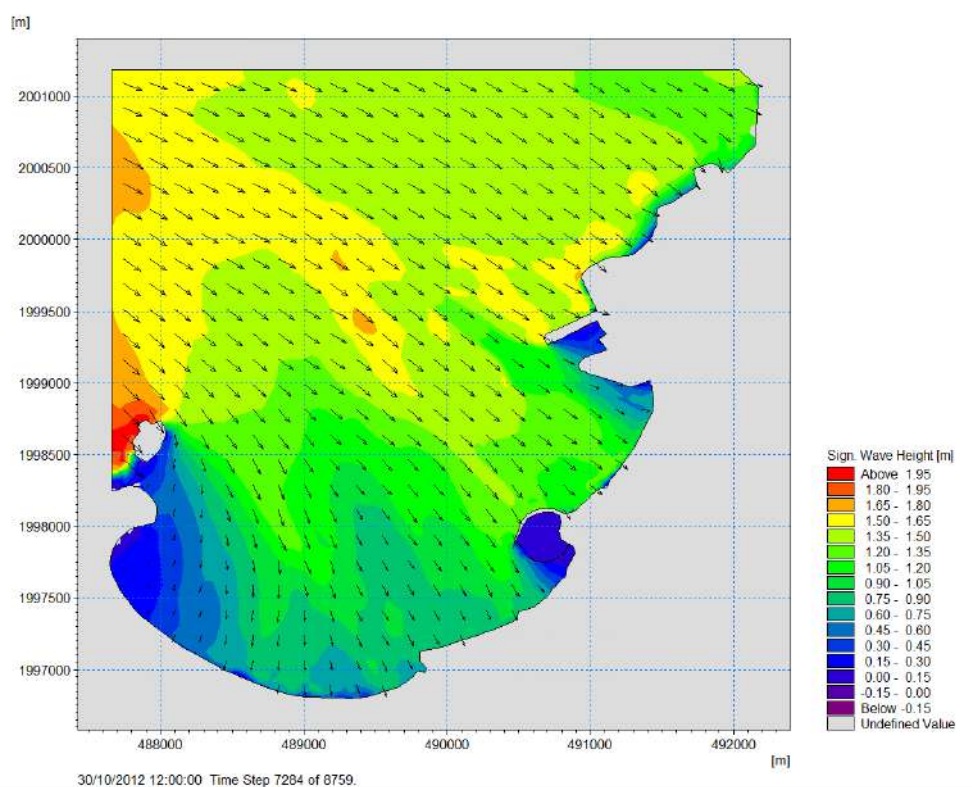


Figure 5.1 : Champ des vagues modélisées dans la baie de Galisbay pendant la tempête d'octobre 2012, le 30/10/2012 à 12h UTC.

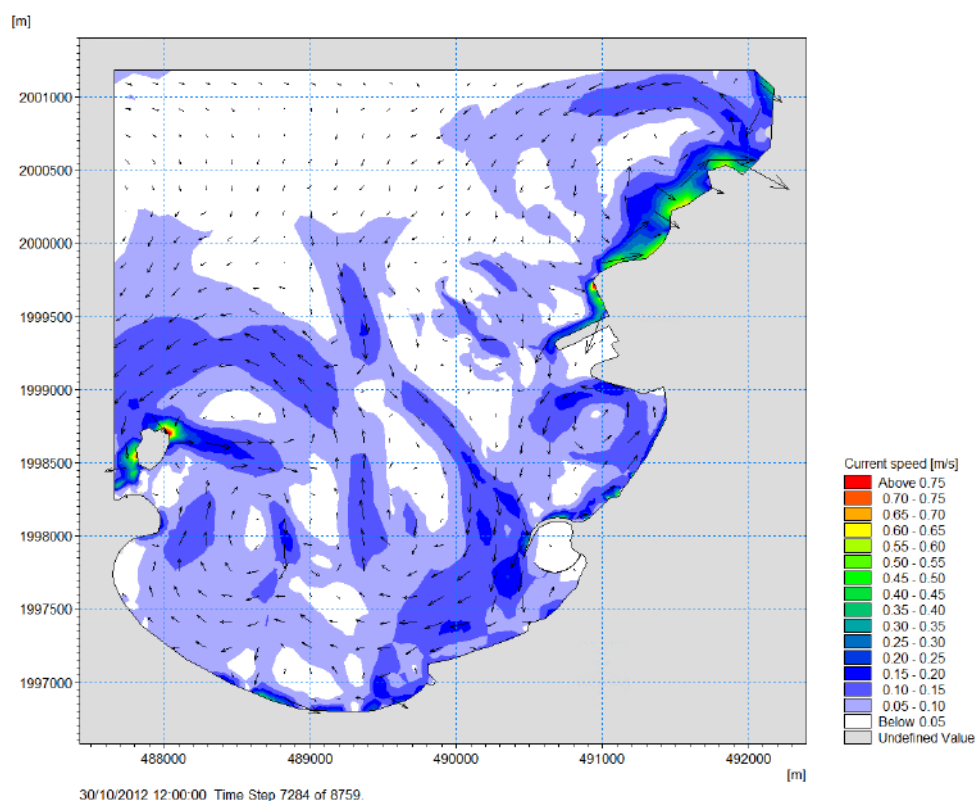


Figure 5.2 : Champ des courants 2D modélisé dans la baie de Galisbay pendant la tempête d'octobre 2012, le 30/10/2012 à 12h UTC.

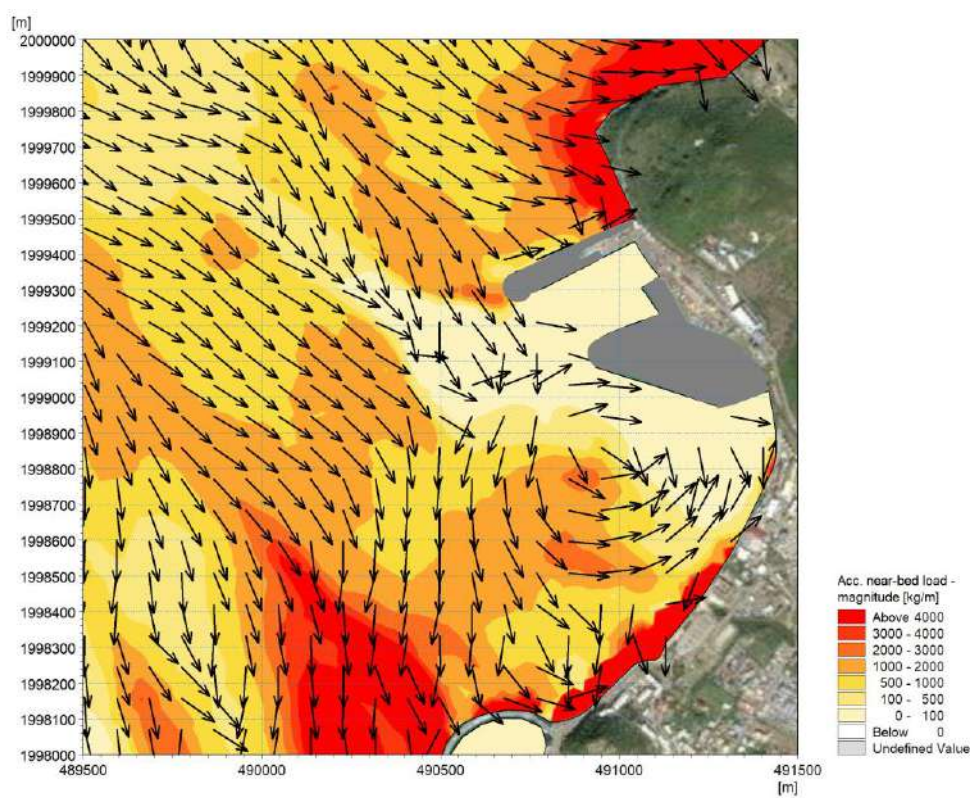


Figure 5.3 : Champ du transport sédimentaire (sables grossiers uniquement) cumulé modélisé dans la baie de Galisbay à l'issue de la simulation 2012 (1 an).

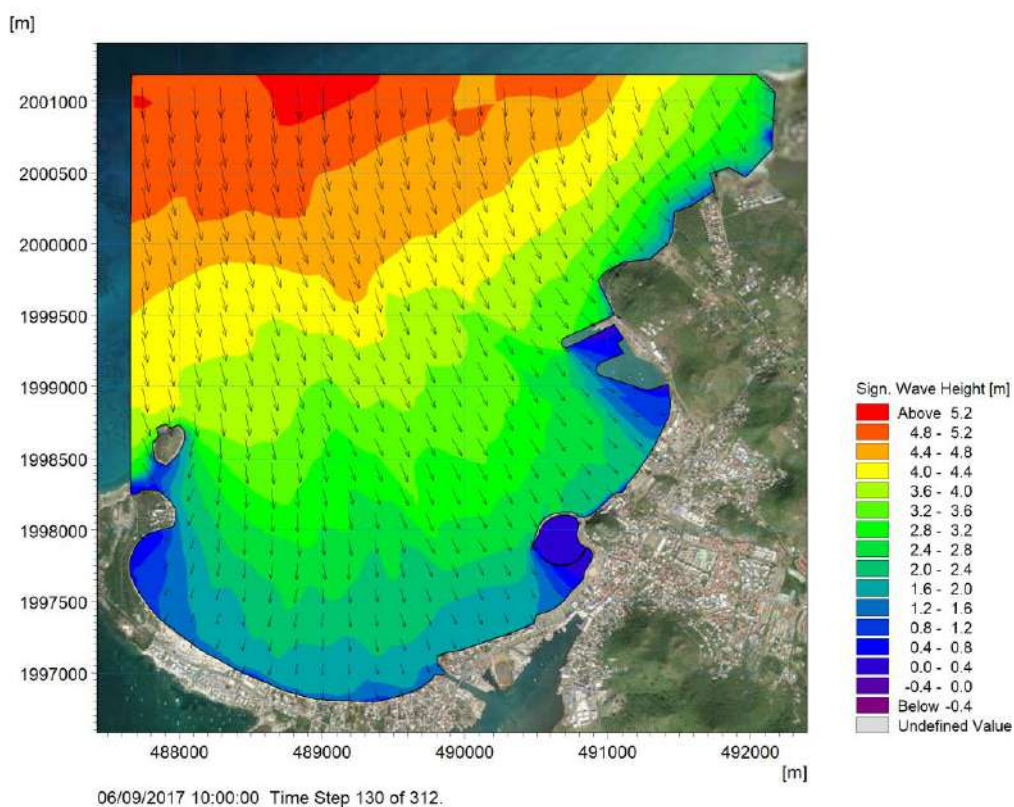


Figure 5.4 : Champ des vagues modélisées dans la baie de Galisbay pendant l'ouragan Irma, le 06/09/2017 à 10h UTC.

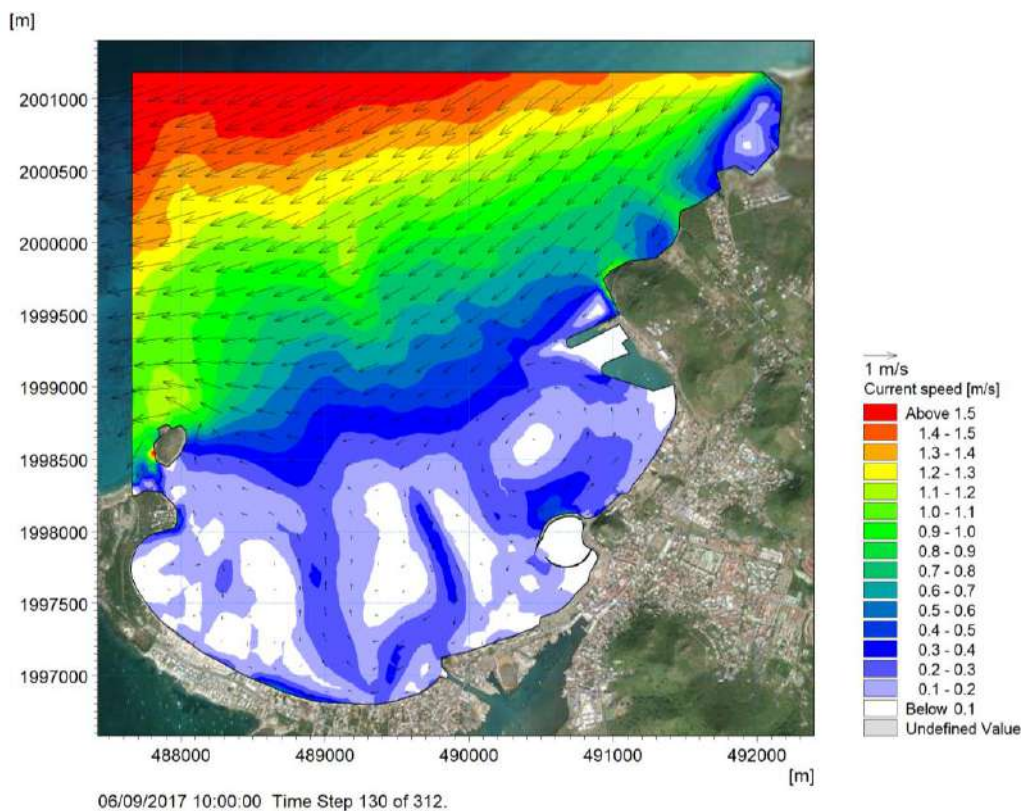


Figure 5.5 : Champ des courants 2D modélisés dans la baie de Galisbay pendant l'ouragan Irma, le 06/09/2017 à 10h UTC.

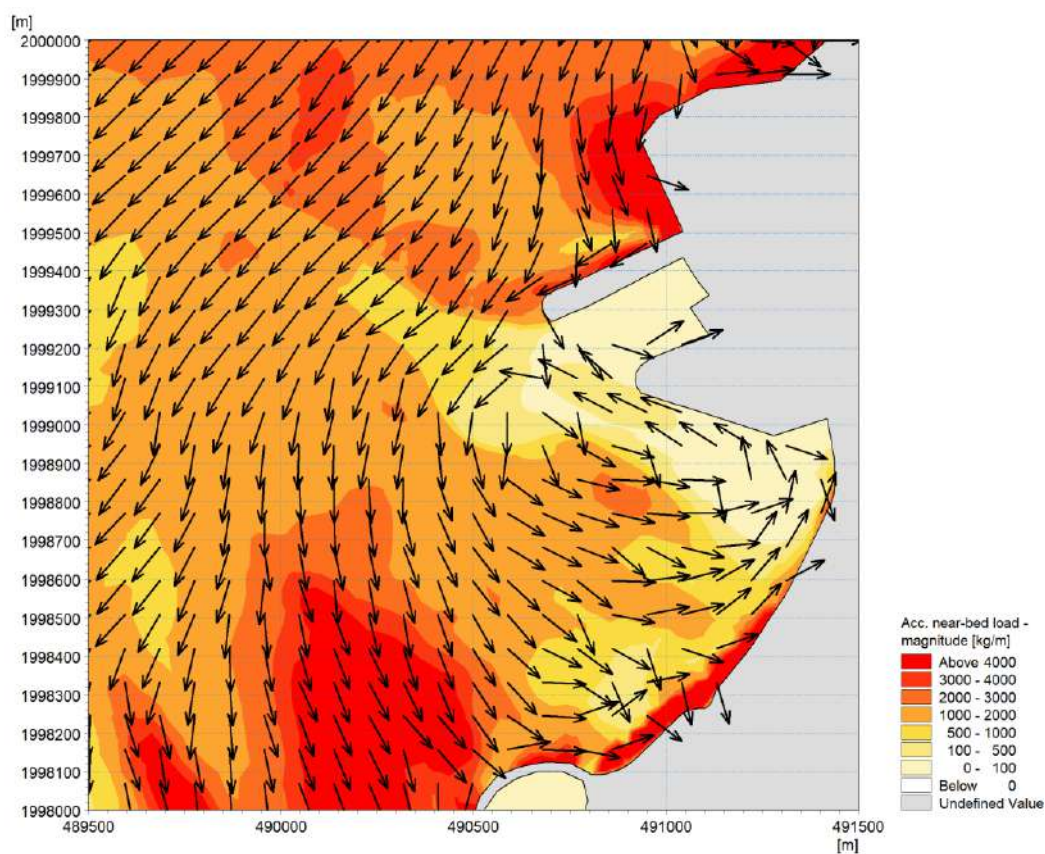


Figure 5.6 : Champ du transport sédimentaire (sables grossiers uniquement) cumulé dans la baie de Galisbay à la fin de la simulation Irma (15 jours)

5.2 Sédimentation dans le chenal

5.2.1 Année 2012

La Figure 5.8 et la Figure 5.9 illustrent les épaisseurs de sédiments déposées (toutes fractions sédimentaires confondues) dans le chenal après 6 mois et après 12 mois de modélisation de l'année type 2012.

Après 6 mois, les dépôts sont très faibles : de l'ordre de 1 à 2 cm seulement, sur la pente nord du cercle d'évitage ainsi que sur la partie la plus au sud du chenal.

Après 12 mois, les évolutions sont plus marquées. Les dépôts sur la pente nord du cercle d'évitage ainsi que dans le sud du chenal se sont intensifiés pour atteindre entre 5 et 10 cm. Des sédiments se sont également déposés dans la darse, de l'ordre de 1 à 3 cm d'épaisseur.

La Figure 5.10 illustre les épaisseurs de sédiments déposées après 12 mois, fraction par fraction. Cela permet d'identifier que les zones de dépôt préférentielles des fines sont le sud du chenal (fines de la baie et fines du large), et que ce sont les fines du large qui se déposent dans la darse. Les sables fins se déposent également dans le sud du chenal, mais de façon plus localisée, le long de la pente. Les sables grossiers constituent quant à eux le dépôt observé sur la pente nord du cercle d'évitage, ainsi que sur l'ensemble de la pente nord du chenal.

Des séries temporelles illustrant la variabilité des conditions météocéaniques et des dépôts au cours de l'année 2012 sont présentées en Figure 5.11, Figure 5.12 et Figure 5.13. Les points auxquels ces séries temporelles sont extraits sont illustrés sur la Figure 5.7.

Sur le site du projet, on observe des dépôts faibles de janvier à octobre, puis une forte sédimentation fin octobre au moment de la principale tempête de l'année (Figure 5.11). Cela est cohérent avec les cartes de sédimentation à fin juin et fin décembre : l'essentiel des dépôts s'est fait entre ces deux mois, fin octobre. Fin 2012, on atteint environ 3 à 4 cm de dépôts au droit du quai, et 8 à 9 cm sur les pentes nord du cercle d'évitage et sud du chenal sud.

La Figure 5.12 illustre qu'au nord du cercle d'évitage ce sont essentiellement les sables grossiers, transportés par charriage, qui composent les dépôts. Au droit du quai ce sont essentiellement les fines amenées du large, et sur la pente sud du chenal sud les sables fins.

La Figure 5.13 illustre les conditions de courant, vagues et l'épaisseur des sédiments en trois points situés dans la baie. En ces points on observe une très faible tendance à la sédimentation au cours de l'année (avec également des périodes d'érosion lors des coups de mer), et de l'érosion au moment de la tempête de fin octobre, puis à nouveau une faible sédimentation. Un dernier coup de mer fin décembre érode de nouveau les sédiments qui s'étaient déposés.

Le Tableau 5.1 synthétise le bilan des volumes déposés et érodés par secteur (zonage défini en Figure 5.14) et par fraction sédimentaire à l'issue de la modélisation de l'année 2012. Les volumes sédimentaires déposés en 1 an dans les secteurs « Darse », « Chenal est », « Chenal Sud 1 » et « Chenal Sud 2 » s'élèvent à environ 2 000 m³/an. Il s'agit essentiellement de fines provenant du large.

Une extrapolation à partir de ce résultat permet d'estimer des besoins en dragage de l'ordre de 10 000 à 20 000 m³ tous les 5 à 10 ans.

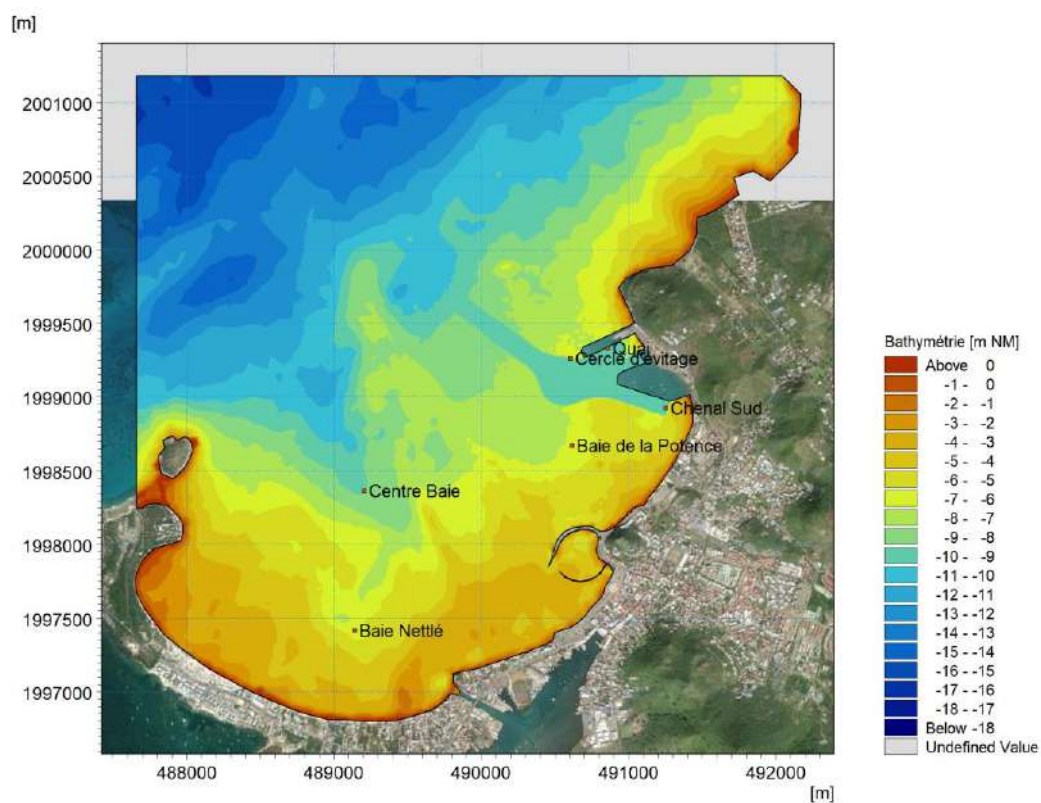


Figure 5.7 : Positions d'extractions des séries temporelles présentées ci-après.

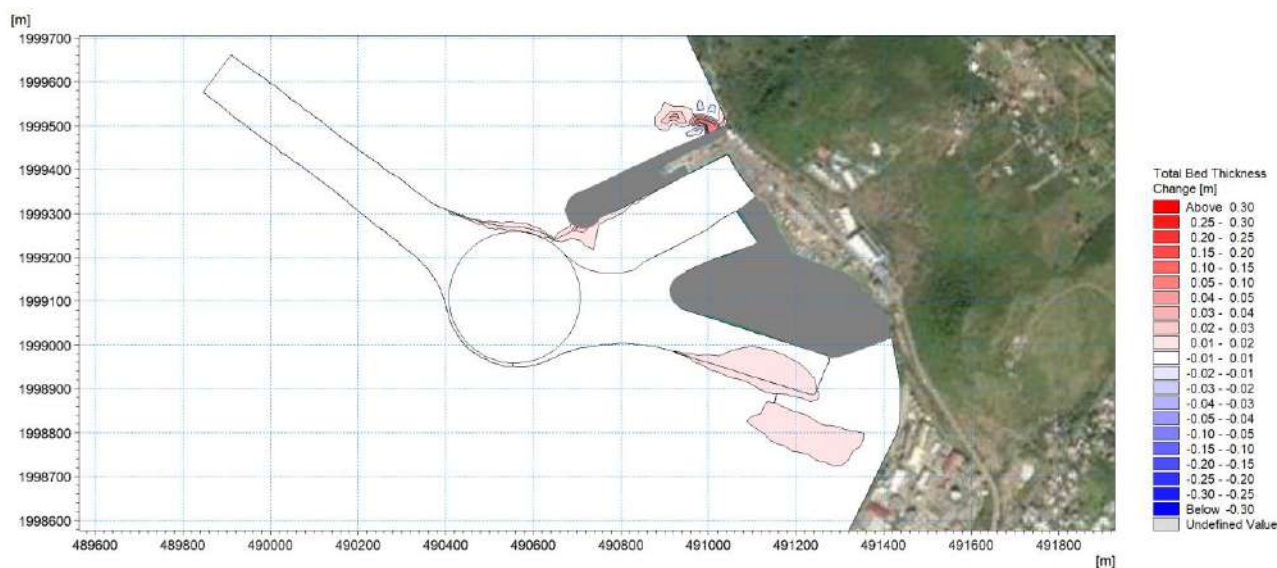


Figure 5.8 : Sédimentation dans le chenal après 6 mois de l'année représentative (fin juin 2012) – toutes fractions sédimentaires confondues.

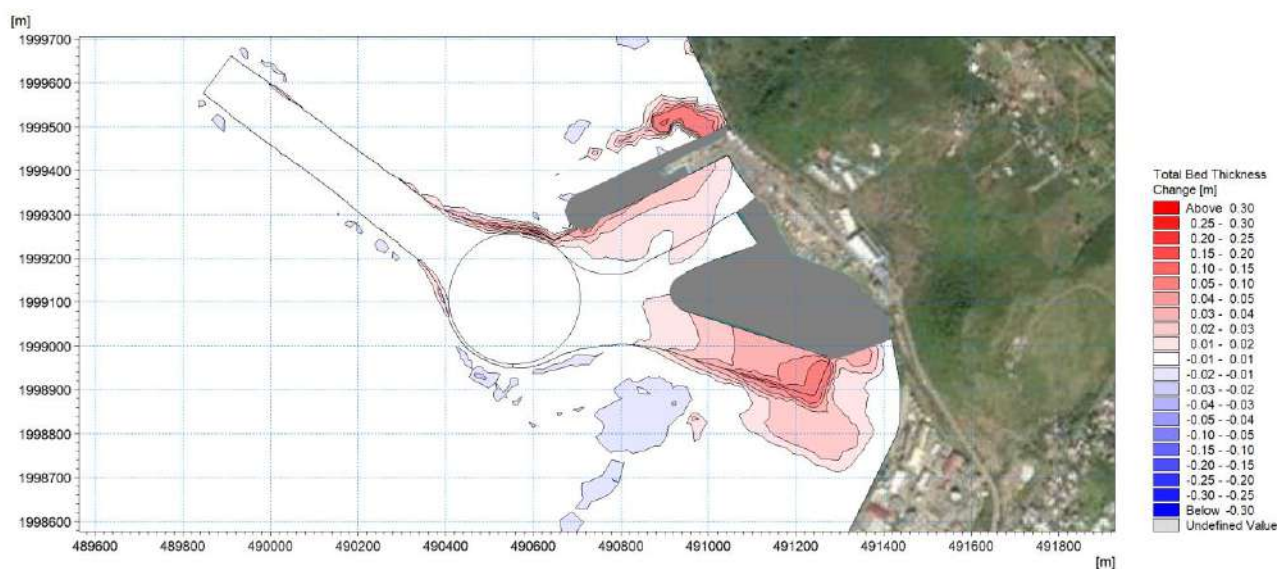


Figure 5.9 : Sédimentation dans le chenal après 1 an représentatif (fin décembre 2012) – toutes fractions sédimentaires confondues.

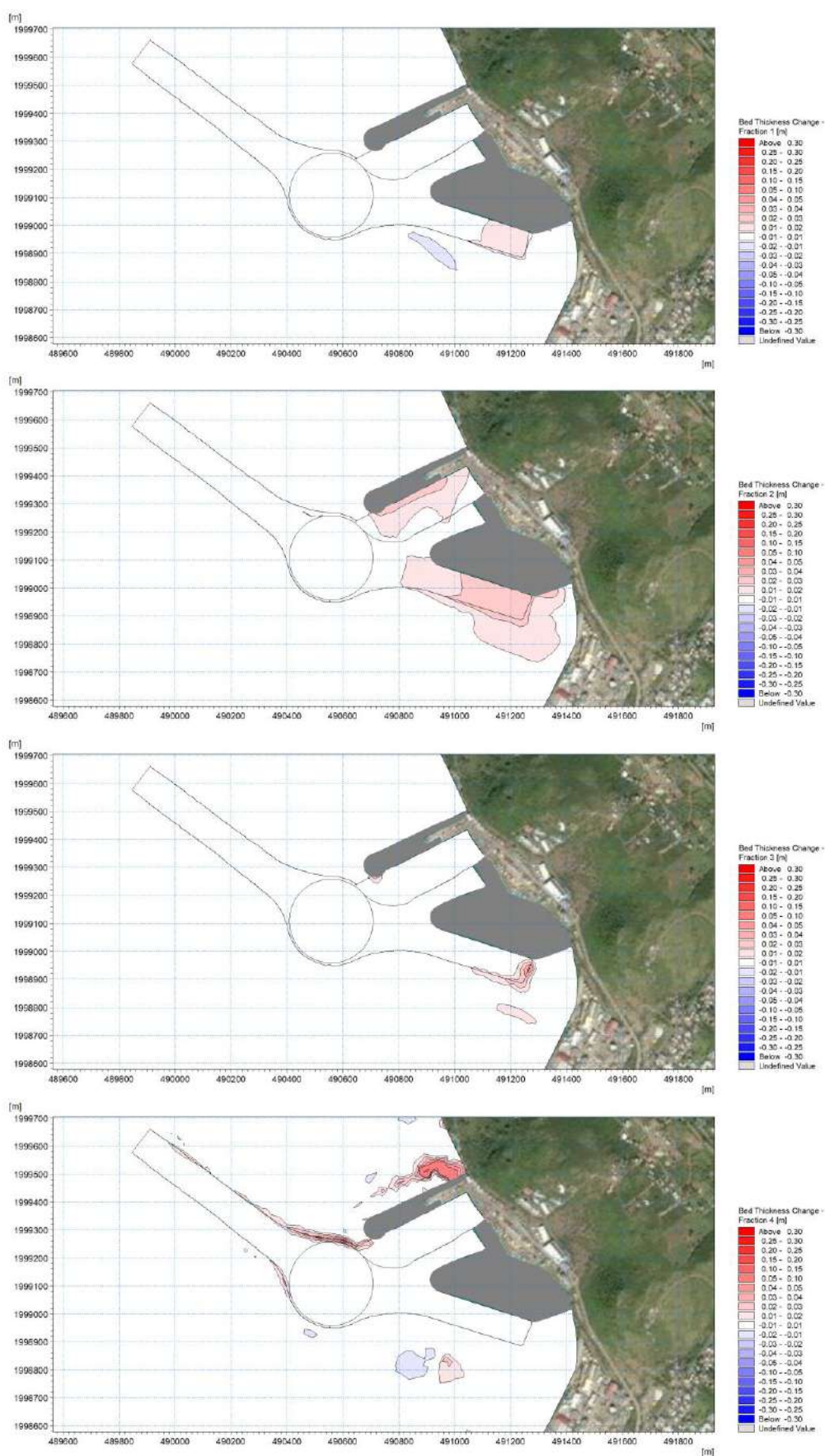


Figure 5.10 : Sédimentation dans le chenal après 1 an représentatif (fin décembre 2012). Dans l'ordre : fines de la baie, fines du large, sables fins et sables grossiers.

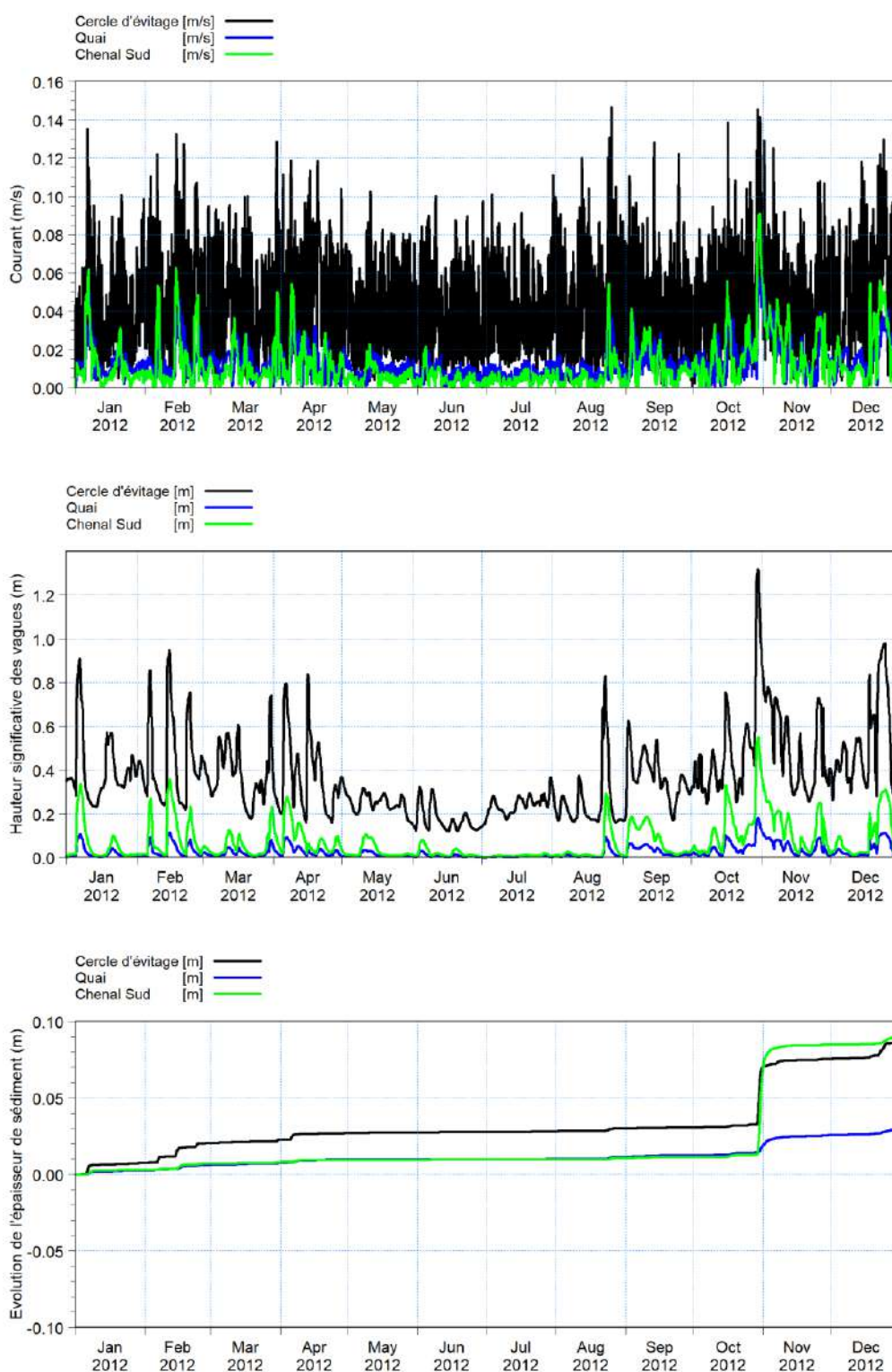


Figure 5.11 : Séries temporelles 2012 extraites sur la zone du projet des vitesses de courant (haut), des hauteurs significatives des vagues (milieu) et de l'épaisseur des sédiments (bas).

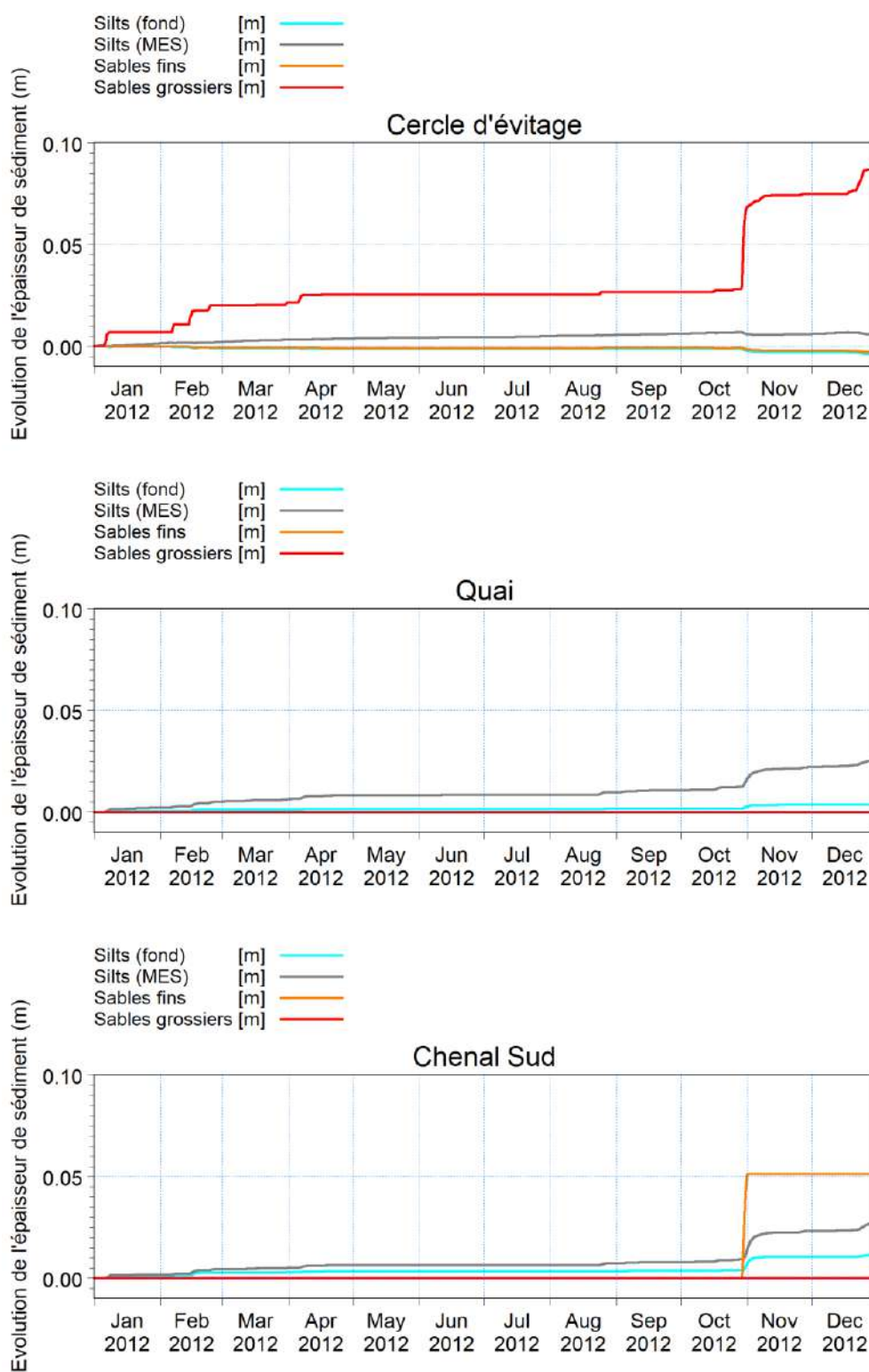


Figure 5.12 : Séries temporelles 2012 extraites sur la zone du projet des épaisseurs des différentes fractions sédimentaires : au cercle d'évitage (haut), au droit du quai (milieu) et au sud du chenal (bas).

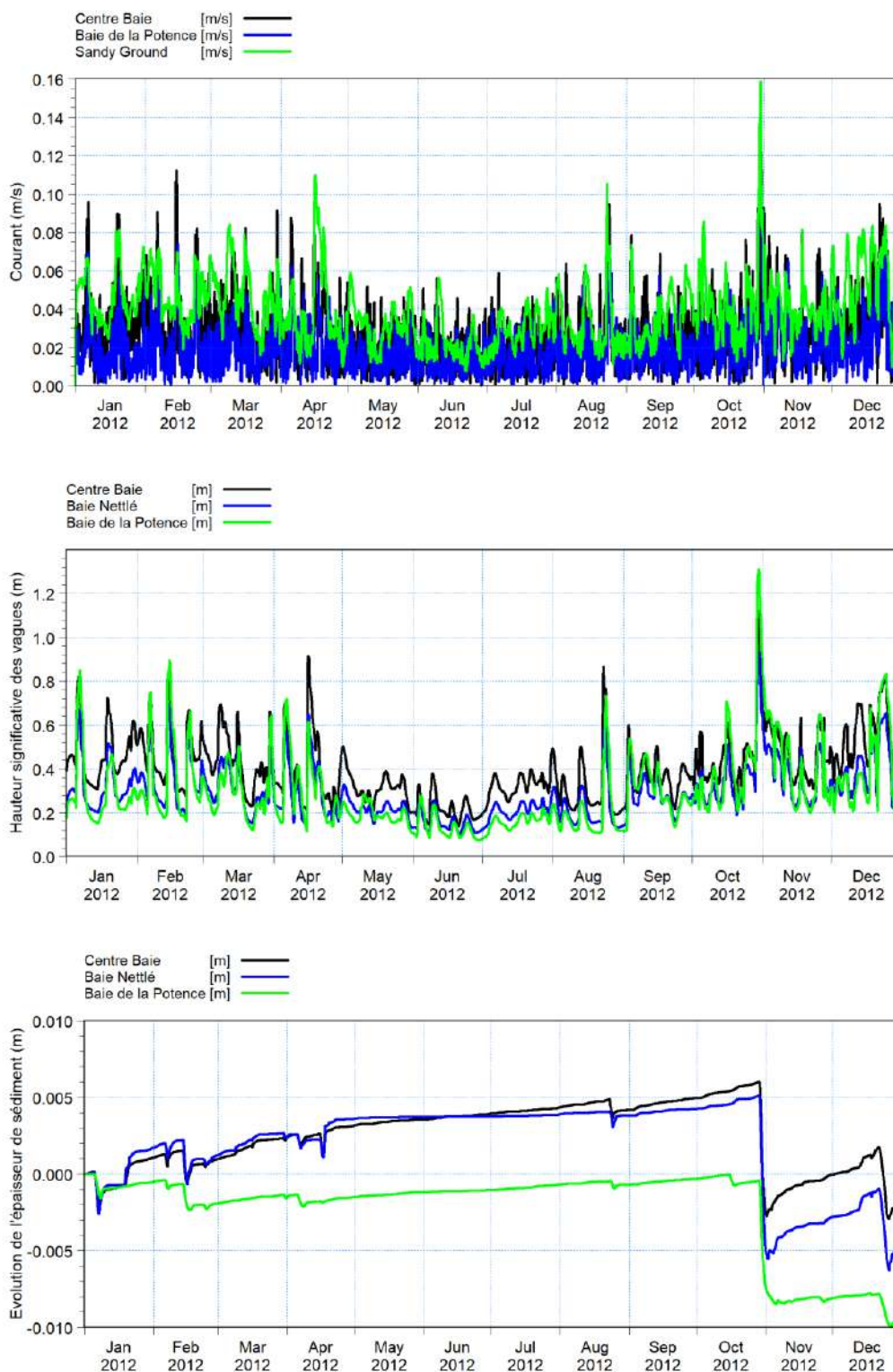


Figure 5.13 : Séries temporelles 2012 extraites dans la baie des vitesses de courant (haut), des hauteurs significatives des vagues (milieu) et de l'épaisseur des sédiments (bas).

Tableau 5.1 : Tableau bilan des volumes déposés/érodés (en m³) par fractions sédimentaires à l'issue de l'année 2012

Aire	Fines (baie)	Fines (large)	Sable fin	Sable grossier	Total
Chenal Nord 1	-187	59	-44	36	-136
Chenal Nord 2	-290	277	-100	44	-69
Cercle d'évitage	-509	469	-96	19	-117
Darse	73	707	37	45	862
Chenal Est	-9	208	-2	1	198
Chenal Sud 1	-131	382	-6	0	245
Chenal Sud 2	221	561	50	0	832
Pente Nord 1	-54	32	-13	98	63
Pente Nord 2	-43	46	-18	141	126
Pente Nord 3	-18	26	-10	147	145
Pente Sud 1	-74	30	-21	47	-18
Pente Sud 2	-82	75	-23	84	54
Pente Sud 3	-66	30	-11	8	-39
Pente Sud 4	-65	104	3	-3	39
Pente Sud 5	141	372	241	0	755
TOTAL	-1 093	3 378	-31	667	2 940

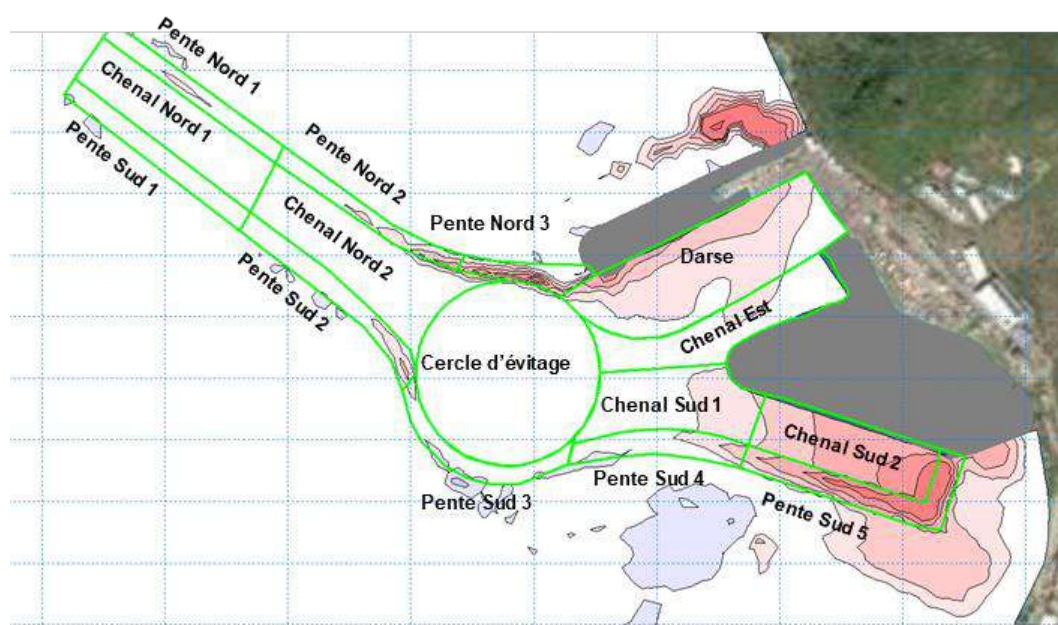


Figure 5.14 : Zonage des dépôts sédimentaires (sédimentation de l'année 2012 simulée).

5.2.2 Ouragan Irma

La Figure 5.15 illustre les épaisseurs de sédiments érodées/déposées (toutes fractions sédimentaires confondues) dans le chenal après l'ouragan Irma (sur une période de 2 semaines).

Après l'ouragan, on observe des dépôts sur la pente nord du chenal ainsi que sur la pente sud de l'extrémité sud du chenal. Dans le chenal lui-même ainsi que sur la pente sud la tendance est au contraire à l'érosion.

La Figure 5.16 illustre les épaisseurs de sédiments déposées après Irma, fraction par fraction. Cela permet d'identifier que les dépôts sur la pente sud de l'extrémité sud du chenal sont essentiellement des sables fins. Les dépôts et érosion sur les façades nord et sud du chenal extérieur sont dus aux mouvements des sables grossiers. Aucune érosion n'apparaît dans le chenal sur ces différentes fractions, contrairement à la carte toute fraction confondue : en réalité toutes les fractions érodent faiblement, sous le seuil de la palette.

Les séries temporelles illustrant la variabilité des conditions météocéaniques et des dépôts au cours de l'ouragan Irma sont présentées en Figure 5.17, Figure 5.18 et Figure 5.19. On rappelle que les points auxquels ces séries temporelles sont extraits sont illustrés sur la Figure 5.7.

Sur le site du projet, on observe des dépôts de l'ordre de 5 à 7 cm sur la pente nord du cercle d'évitage (sables grossiers) ainsi que sur la pente sud du chenal sud (sables fins). Dans la baie, on note une faible tendance à l'érosion, de l'ordre de 2 cm.

Le Tableau 5.2 synthétise le bilan des volumes déposés et érodés par secteur (zonage rappelé en Figure 5.20) et par fraction sédimentaire à l'issue de la modélisation sur Irma. Les volumes sédimentaires déposés après Irma dans les secteurs « Darse », « Chenal est », « Chenal Sud 1 » et « Chenal Sud 2 » s'élèvent à environ 280 m³. Ici encore, il s'agit essentiellement de fines provenant du large.

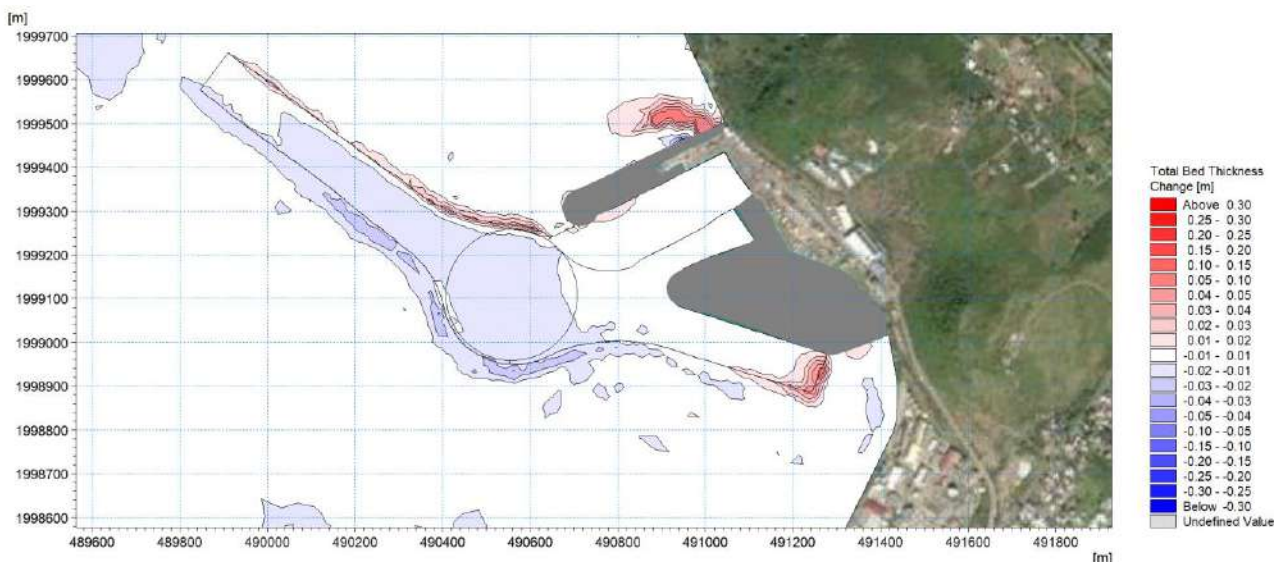


Figure 5.15 : Sédimentation dans le chenal après l'ouragan Irma – toutes fractions sédimentaires confondues.

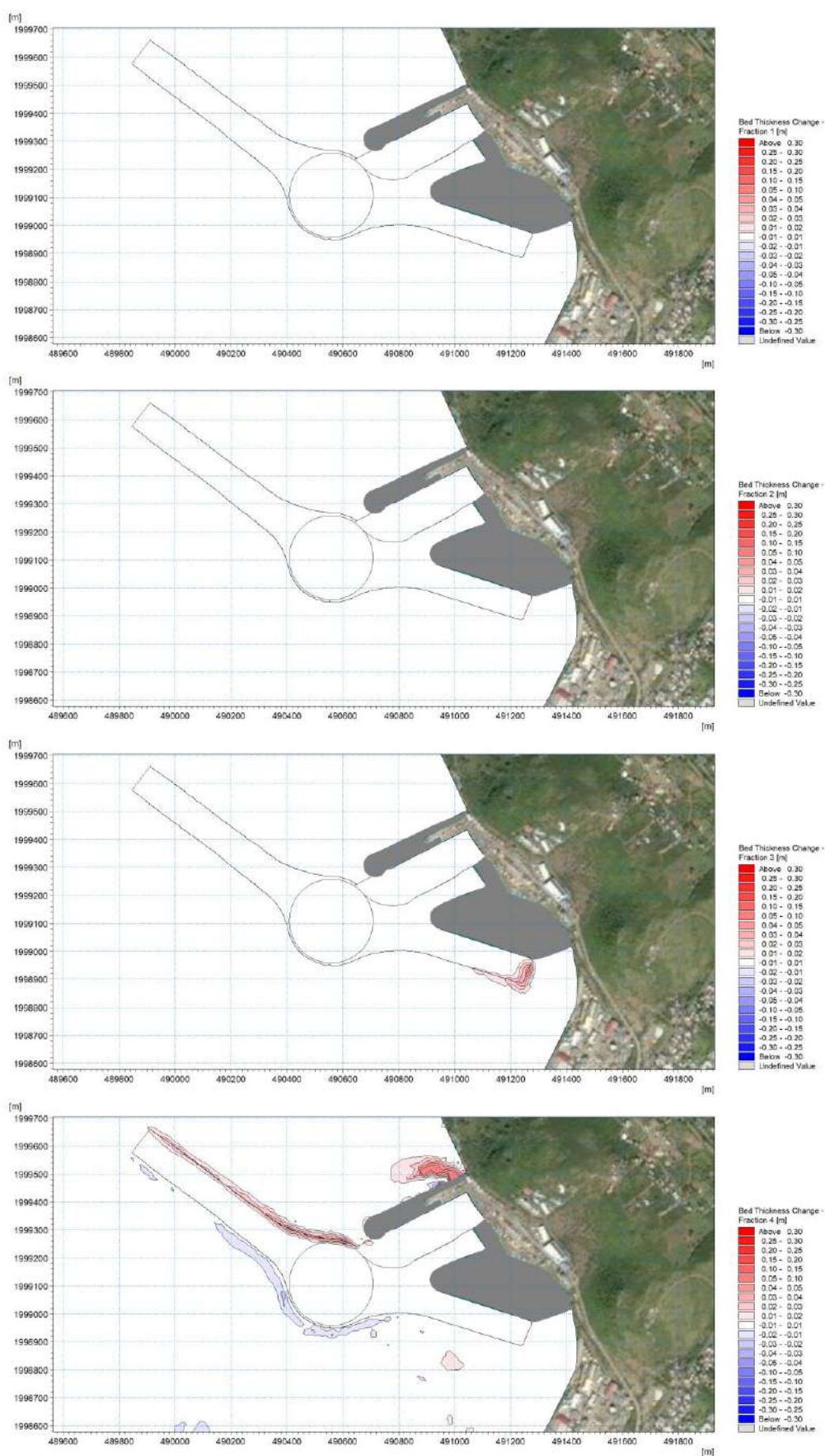


Figure 5.16 : Sédimentation dans le chenal après l'ouragan Irma. Dans l'ordre : fines de la baie, fines du large, sables fins et sables grossiers.

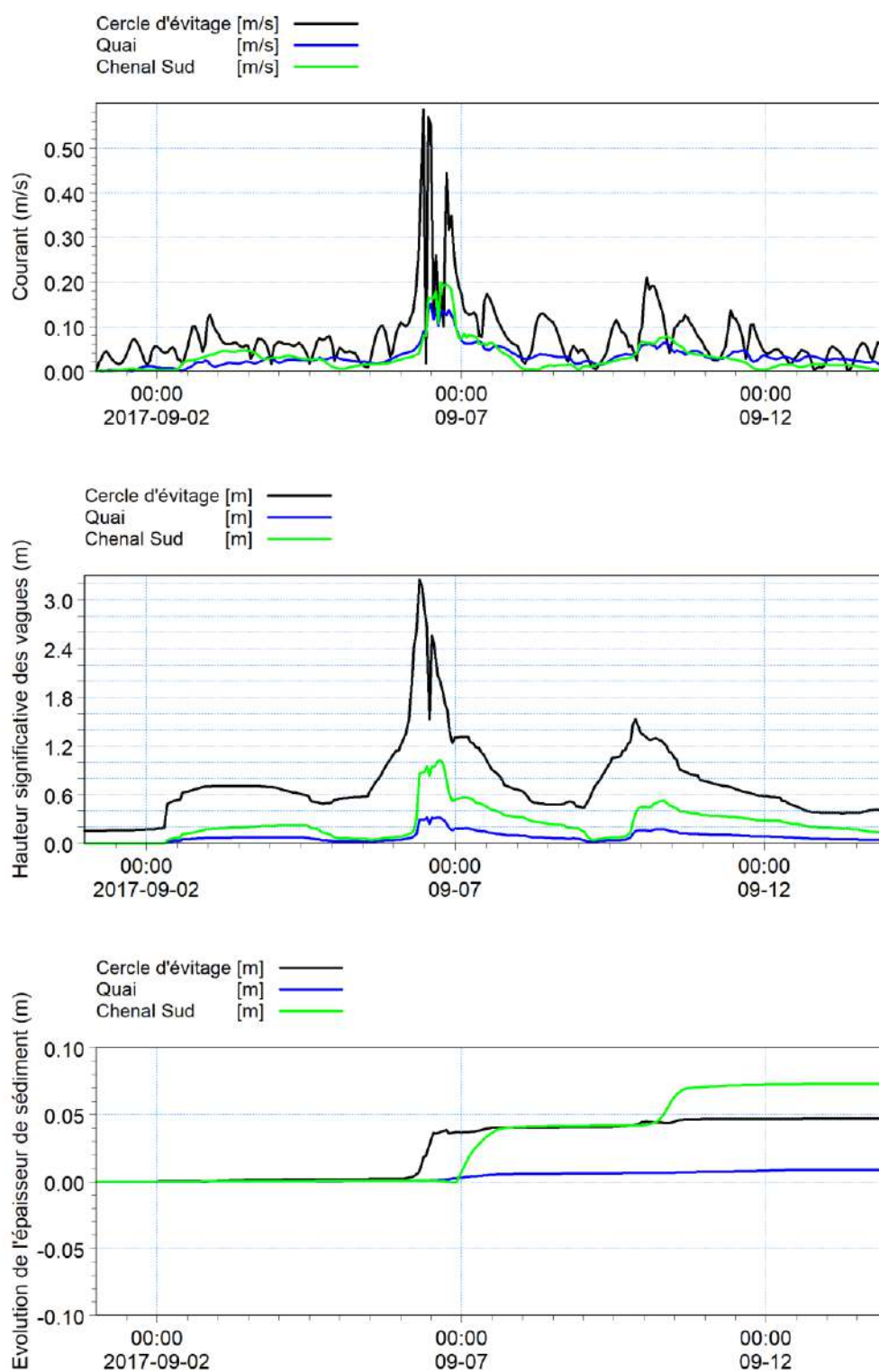


Figure 5.17 : Séries temporelles Irma extraites sur la zone du projet des vitesses de courant (haut), des hauteurs significatives des vagues (milieu) et de l'épaisseur des sédiments (bas).

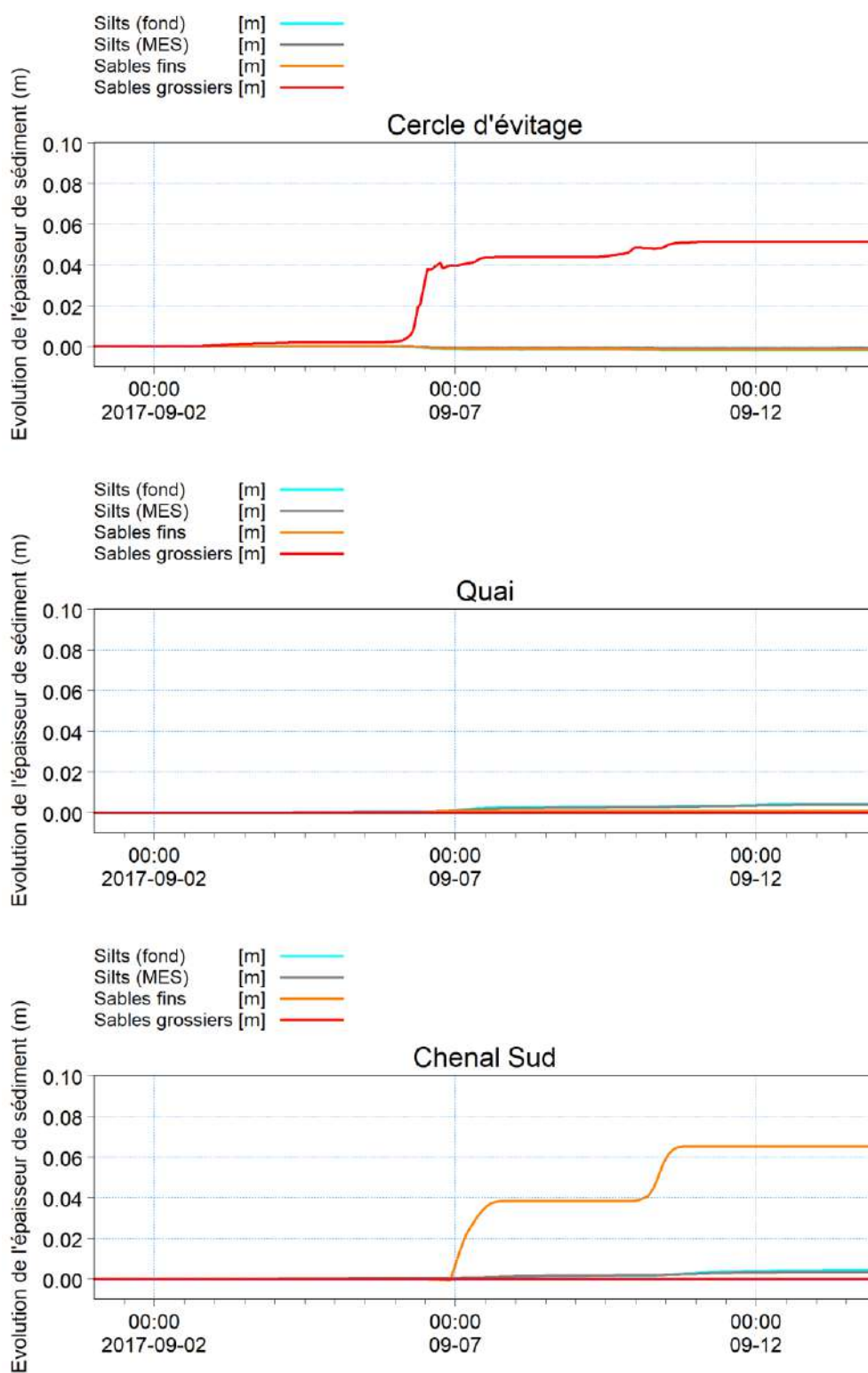


Figure 5.18 : Séries temporelles Irma extraites sur la zone du projet des épaisseurs des différentes fractions sédimentaires : au cercle d'évitage (haut), au droit du quai (milieu) et au sud du chenal (bas).

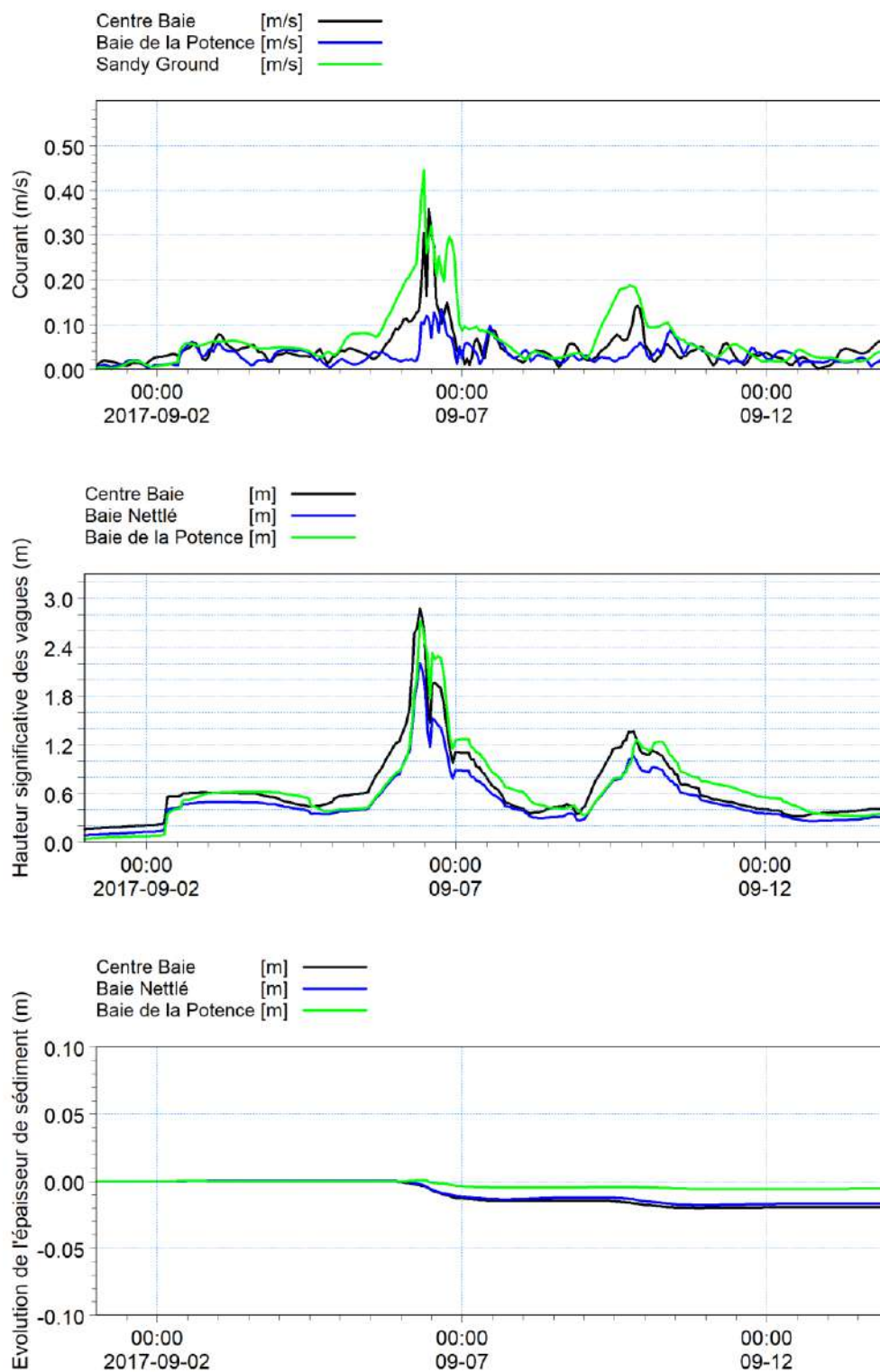


Figure 5.19 : Séries temporelles Irma extraites dans la baie des vitesses de courant (haut), des hauteurs significatives des vagues (milieu) et de l'épaisseur des sédiments (bas).

Tableau 5.2 : Tableau bilan des volumes déposés/érosés (en m³) par fractions sédimentaires à l'issue de l'ouragan Irma

Aire	Fines (baie)	Fines (large)	Sable fin	Sable grossier	Total
Chenal Nord 1	-132	-158	-32	41	-281
Chenal Nord 2	-262	-182	-119	56	-507
Cercle d'évitage	-555	-157	-154	-33	-899
Darse	54	89	6	24	173
Chenal Est	-42	17	-9	6	-28
Chenal Sud 1	-278	-18	-13	-52	-361
Chenal Sud 2	8	58	46	-8	104
Pente Nord 1	-31	-43	-9	217	134
Pente Nord 2	-24	-22	-15	258	197
Pente Nord 3	-9	-6	-11	143	117
Pente Sud 1	-54	-67	-13	-22	-155
Pente Sud 2	-72	-55	-27	-42	-195
Pente Sud 3	-65	-21	-10	-69	-165
Pente Sud 4	-96	-9	-1	-48	-154
Pente Sud 5	-2	37	256	-6	285
TOTAL	-1 560	-537	-105	465	-1 735

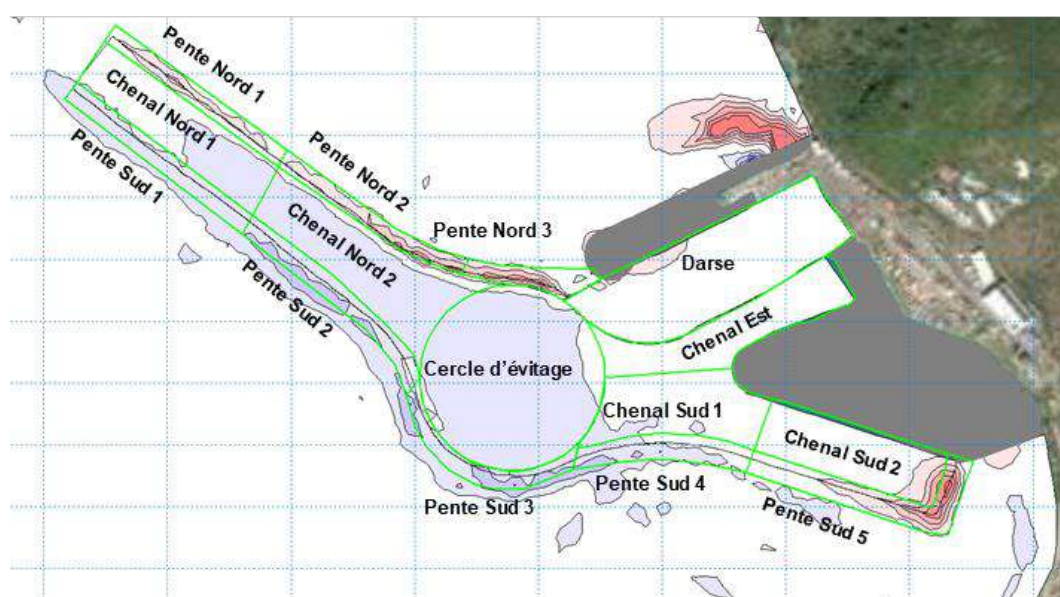


Figure 5.20 : Zonage des dépôts sédimentaires (sédimentation Irma).

5.2.3 Ouragan Gonzalo

La Figure 5.21 illustre les épaisseurs de sédiments érodées/déposées (toutes fractions sédimentaires confondues) dans le chenal après l'ouragan Gonzalo (sur une période de 2 semaines).

Après l'ouragan, on observe de faibles dépôts (< 2 cm) sur la pente sud de l'extrémité sud du chenal.

Les séries temporelles illustrant la variabilité des conditions météocéaniques et des dépôts au cours de l'ouragan Irma sont présentées en Figure 5.22, Figure 5.23 et Figure 5.24. On rappelle que les points auxquels ces séries temporelles sont extraits sont illustrés sur la Figure 5.7.

Sur le site du projet, on observe une faible tendance aux dépôts, qui atteignent à peine plus de 1 cm dans la pente du chenal sud. Dans la baie, on note une tendance à l'érosion, mais d'ordre de grandeur négligeable.

Le Tableau 5.3 synthétise le bilan des volumes déposés et érodés par secteur (zonage rappelé en Figure 5.25) et par fraction sédimentaire à l'issue de la modélisation sur Gonzalo. Les volumes sédimentaires déposés après Gonzalo dans les secteurs « Darse », « Chenal est », « Chenal Sud 1 » et « Chenal Sud 2 » s'élèvent à environ 160 m³. Ici encore, il s'agit essentiellement de fines provenant du large.

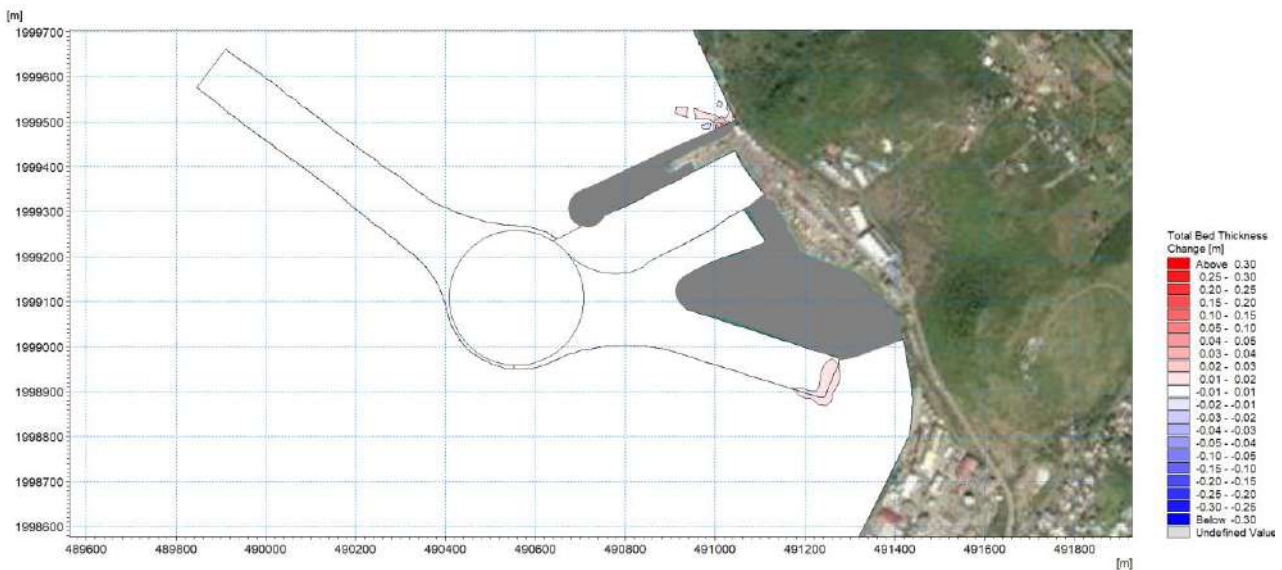


Figure 5.21 : Sédimentation dans le chenal après l'ouragan Gonzalo – toutes fractions sédimentaires confondues.

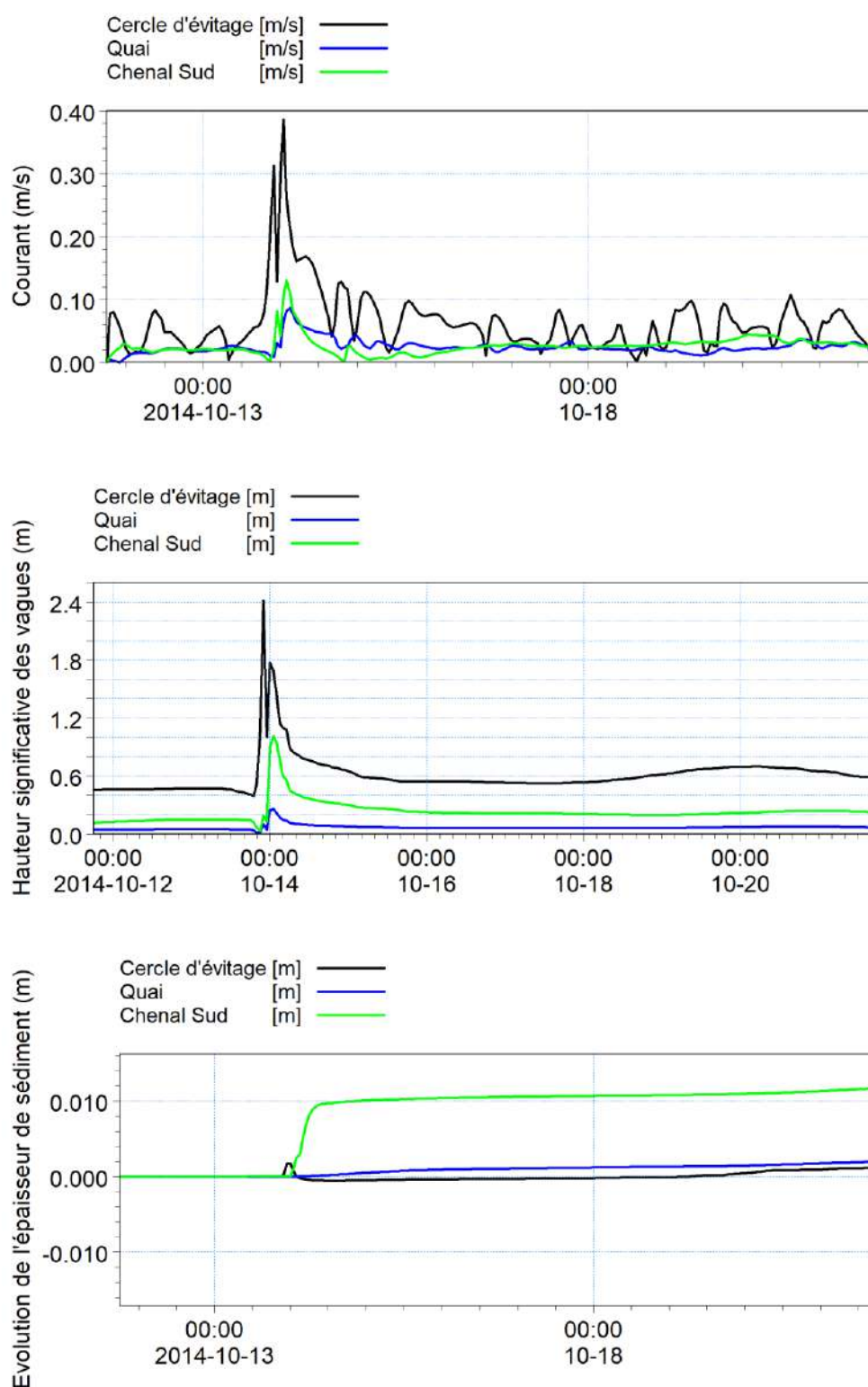


Figure 5.22 : Séries temporelles Gonzalo extraites sur la zone du projet des vitesses de courant (haut), des hauteurs significatives des vagues (milieu) et de l'épaisseur des sédiments (bas).

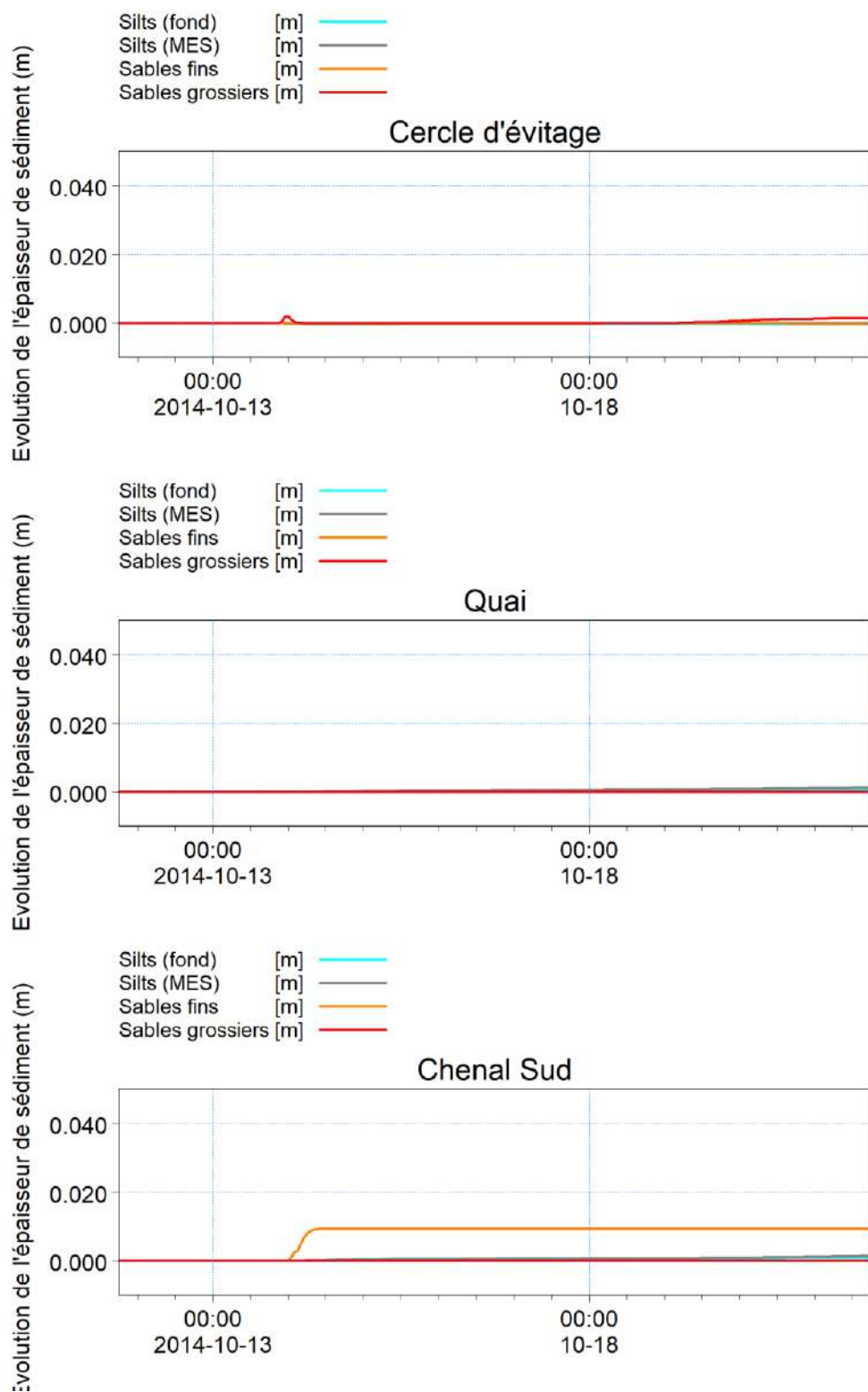


Figure 5.23 : Séries temporelles Gonzalo extraites sur la zone du projet des épaisseurs des différentes fractions sédimentaires : au cercle d'évitage (haut), au droit du quai (milieu) et au sud du chenal (bas).

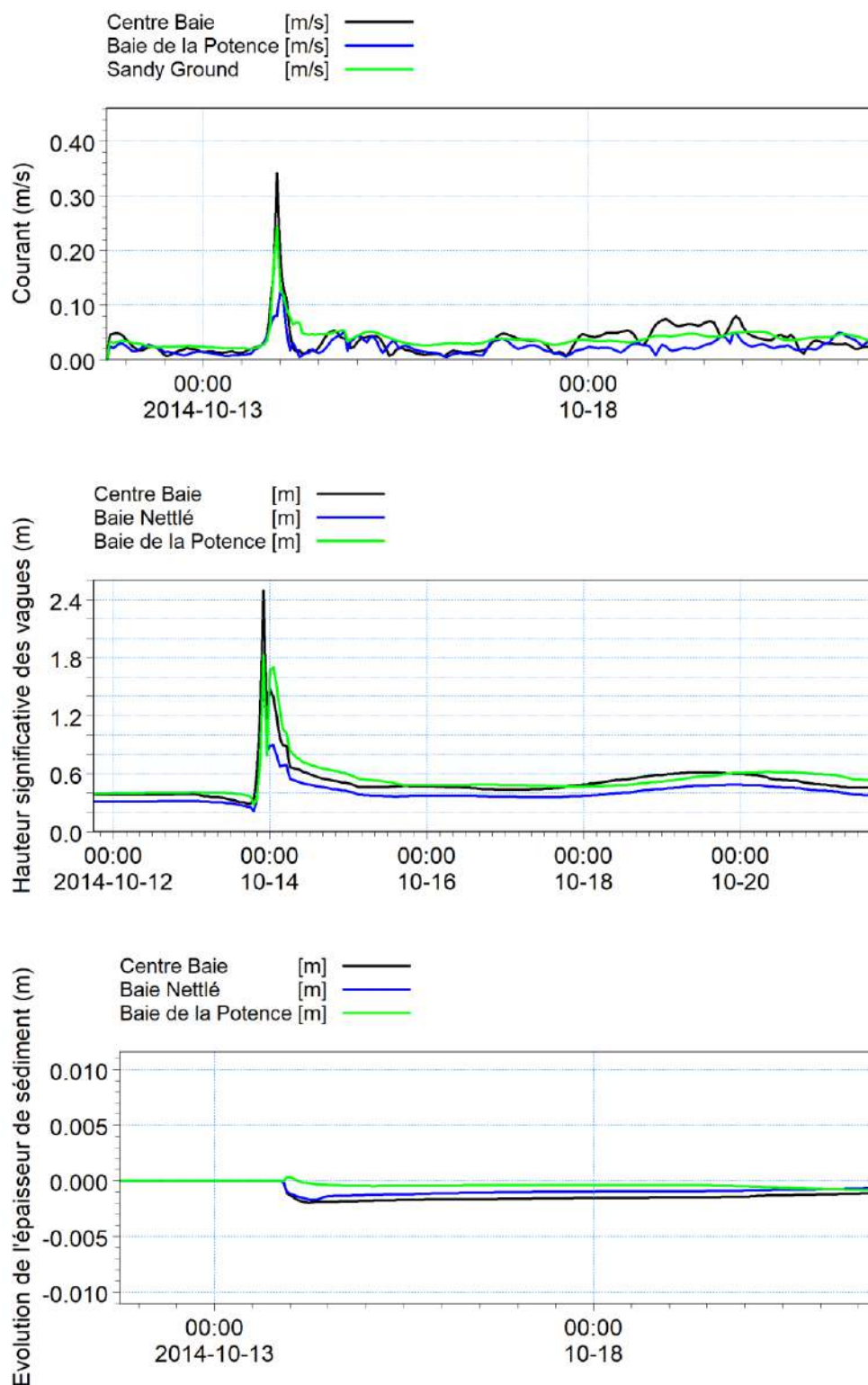


Figure 5.24 : Séries temporelles Gonzalo extraites dans la baie des vitesses de courant (haut), des hauteurs significatives des vagues (milieu) et de l'épaisseur des sédiments (bas).

Tableau 5.3 : Tableau bilan des volumes déposés/érodés (en m³) par fractions sédimentaires à l'issue de l'année 2012

Aire	Fines (baie)	Fines (large)	Sable fin	Sable grossier	Total
Chenal Nord 1	-21	-19	-5	2	-43
Chenal Nord 2	-29	-8	-7	2	-42
Cercle d'évitage	-47	14	-2	-5	-39
Darse	20	41	3	-1	63
Chenal Est	4	13	-1	0	17
Chenal Sud 1	-10	20	10	0	21
Chenal Sud 2	18	31	9	0	57
Pente Nord 1	-6	-7	-1	23	9
Pente Nord 2	-4	-3	-2	28	19
Pente Nord 3	-1	-1	0	-1	-4
Pente Sud 1	-9	-8	-2	-8	-28
Pente Sud 2	-9	-4	-2	-10	-25
Pente Sud 3	-7	-1	1	-3	-10
Pente Sud 4	-7	4	9	0	7
Pente Sud 5	8	20	37	0	64
TOTAL	-100	92	47	27	66

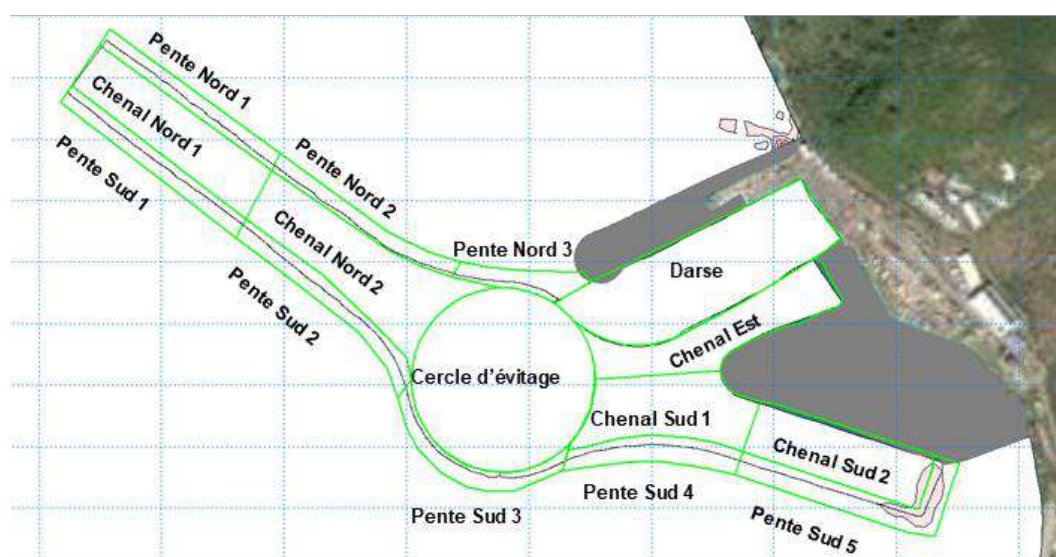


Figure 5.25 : Zonage des dépôts sédimentaires (sédimentation de Gonzalo).

6 Conclusion

Ce rapport présente les résultats de l'étude de l'ensablement/envasement du chenal et des bassins portuaires de la Phase 5 des études relatives à l'élaboration d'un Dossier d'Autorisation Environnementale Unique (DAEU), dans le cadre du projet d'extension du Port de Commerce de Galisbay.

Un modèle hydrosédimentaire 2D couplant vagues, hydrodynamique et transport sédimentaire cohésif et non cohésif a été mis en place sur la baie de Galisbay. Il permet de modéliser la dynamique des fines venant du large, et des sédiments naturellement présents dans le lit sédimentaire (fines, sables fins, sables grossiers).

La sédimentation dans le port a été modélisée pour sur 3 périodes :

- Une année type (2012)
- L'ouragan Irma (2 semaines)
- L'ouragan Gonzalo (2 semaines)

La carte de la sédimentation à l'issue de l'année 2012 est rappelée en Figure 5.25, ainsi que les zones définies pour le calcul des volumes déposés/érodés. Le Tableau 6.1 rappelle les volumes déposés/érodés par secteur, toutes fractions confondues, à l'issue des trois simulations réalisées.

Ce tableau indique que les volumes déposés dans les secteurs de la souille, la darse et le sud du chenal atteignent environ 2 000 m³/an, 280 m³ sur un événement type Irma et 160 m³ sur un événement type Gonzalo.

Cela permet d'estimer des besoins en dragages compris entre 10 000 et 20 000 m³ tous les 5 à 10 ans.

Il faut toutefois noter que la modélisation du transport sédimentaire est de façon générale soumise à incertitudes, ces chiffres doivent donc être considérés comme une estimation globale. L'analyse sur l'année 2012 a mis en évidence l'impact important d'une unique tempête : les tendances annuelles peuvent donc varier en fonction de la fréquence des tempêtes. Une autre incertitude réside dans la turbidité naturelle et les apports de fines depuis le large dans la baie et sur le site du projet : l'étude a montré que la sédimentation dans le chenal provient essentiellement des fines venues du large.

L'étude montre également que le chenal s'avère globalement stable dans le temps, même après un cyclone de type Irma, et que le port reste accessible après un tel cyclone.

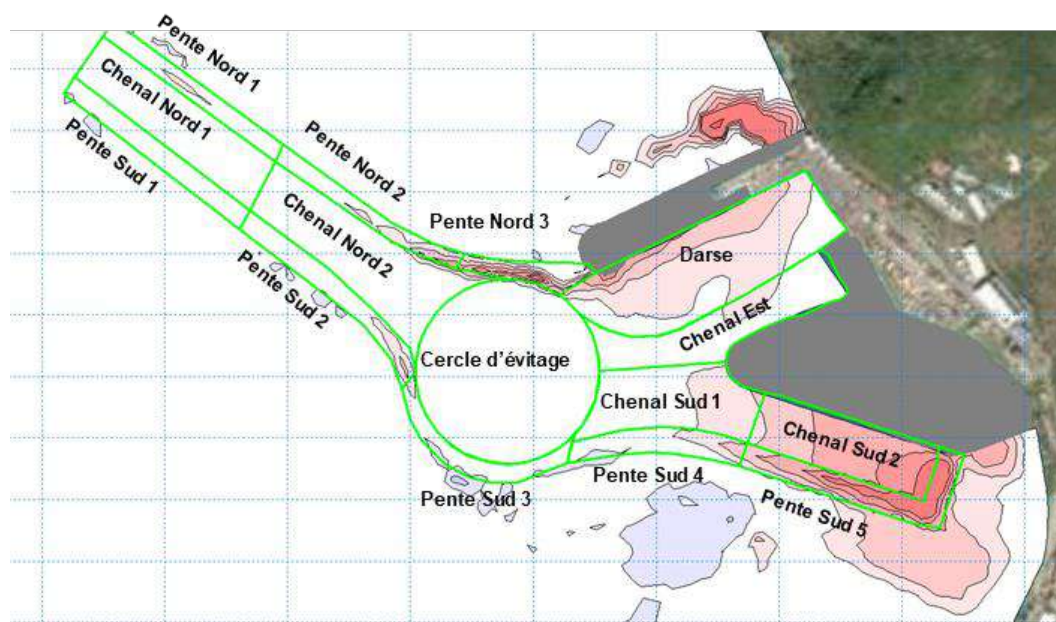


Figure 6.1 : Zonage des dépôts sédimentaires (sédimentation de 2012).

Tableau 6.1 : Tableau bilan des volumes déposés/érodés (en m³) toutes fractions sédimentaires confondues pour les simulations 2012, Irma et Gonzalo

Aire	2012	Irma	Gonzalo
Chenal Nord 1	-136	-281	-43
Chenal Nord 2	-69	-507	-42
Cercle d'évitage	-117	-899	-39
Darse	862	173	63
Chenal Est	198	-28	17
Chenal Sud 1	245	-361	21
Chenal Sud 2	832	104	57
Pente Nord 1	63	134	9
Pente Nord 2	126	197	19
Pente Nord 3	145	117	-4
Pente Sud 1	-18	-155	-28
Pente Sud 2	54	-195	-25
Pente Sud 3	-39	-165	-10
Pente Sud 4	39	-154	7
Pente Sud 5	755	285	64
TOTAL	2 940	-1 735	66

7 Références

- /1/ Antilles GEOTECHNIQUE, *Extension du port de Galisbay – Analyses chimiques des sols*, octobre 2016.
- /2/ Antilles GEOTECHNIQUE, *Quai de croisière du port de Galisbay – Analyse chimique des sols*, octobre 2020
- /3/ BOUGIS, *Etude d'impacts de l'extension du port de commerce de Saint-Martin (3^{ème} phase) : Aspects courantologiques et sédimentologiques*, novembre 2003.
- /4/ DHI, *DAEU du dragage et de l'extension du port de commerce de Galisbay, Phase 2 – Définition de la zone d'immersion – Phase 2A : Elaboration d'un modèle de courantologie générale*, mai 2021.
- /5/ DHI, *Projet de rechargement des plages de Sandy Ground et de Galisbay, Phases 2 & 3 : Modélisation hydrosédimentaire du site, Cas actuel & projet*, novembre 2022.
- /6/ I-SEA, *Cartographie et analyse de l'état de conservation des habitats marins dans les baies de Marigot, Grand-Case et Cul de Sac sur l'île de Saint-Martin*, décembre 2021
- /7/ PARETO, *Prélèvement et analyse des sédiments de surface dans la zone d'influence du projet du Port de Galisbay*, août 2013.
- /8/ SETEC, *Saint-Martin, Mission de maîtrise d'œuvre relative à la conception au niveau AVP d'un quai croisière au Port de Galisbay, consolidation du projet d'extension du port de commerce et du projet du quai croisière, Tranche Ferme – Mission 4*, novembre 2022.

----- FIN DU DOCUMENT -----