

Projet HYDROSEDMAR : Synthèse et analyse des mesures hydro-sédimentaires réalisées dans la baie de Fort-de-France (2017-2018)

Rapport final

BRGM/RP-68217-FR

Août 2018

Projet HYDROSEDMAR : Synthèse et analyse des mesures hydro-sédimentaires réalisées dans la baie de Fort-de-France (2017-2018)

Rapport final

BRGM/RP-68217-FR

Août 2018

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM

S. Lecacheux, F. Desmazes, D. Idier, R. Pedreros

Avec la collaboration de

Laurie Vincent et André Dolle (Société NORTEKMED)

Vérificateur :

Nom : Yann Balouin

Fonction : Expert risques littoraux
(DAT OCCITANIE)

Date : 20/08/2018

Signature :



Approbateur :

Nom : Benoît Vittecoq

Fonction : Directeur de la Direction
Régionale Martinique

Date : 24/09/2018

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Mots-clés : Martinique, baie de Fort-de-France, campagnes de mesure, hydrodynamique, sédimentaire.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

S. LECACHEUX, F. DESMAZE, D. IDIER, R. PEDREROS. (2018) – Projet HYDROSEDMAR : Synthèse et analyse des mesures hydro-sédimentaires réalisées dans la baie de Fort-de-France (2017-2018). Rapport final. BRGM/RP-68217-FR, 76 p., 42 fig., 5 tabl., 4 ann.

Synthèse

Le projet HydroSedMar » s'inscrit dans le cadre des actions du contrat de baie de Fort-de-France via une convention de Recherche et Développement partagés entre la CACEM et le BRGM. Il a pour but d'améliorer la compréhension du fonctionnement hydrosédimentaire de la baie à travers trois grandes actions : (1) Acquisition et analyse de données, (2) Modélisation hydro-sédimentaire et (3) Diffusion et communication auprès des acteurs de la baie et les scientifiques.

Dans le cadre de l'action 1, deux campagnes de mesures ont été réalisées par la société NORTEKMED afin de collecter, en 5 points de la baie, des données représentatives des conditions hydrodynamiques et thermo-halines en période de carême (du 22/02/2017 au 04/04/2017) et d'hivernage (du 13/09/2017 au 18/10/2017). Parallèlement, le BRGM a effectué une campagne sur une durée de 1 an (de février 2017 à janvier 2018) afin de mieux caractériser la turbidité au niveau des embouchures de la rivière Salée et de la rivière Lézarde ainsi que l'évolution des fonds dans les zones de vase en fond de baie.

Le présent rapport propose une synthèse des informations et des éléments de compréhension recueillis à travers ces deux campagnes. Il est complémentaire aux rapports décrivant de manière détaillée les opérations de pose et d'entretien, l'instrumentation utilisée, le contrôle qualité et le post-traitement des mesures (Vincent 2017a ; Vincent 2017b ; Desmazes et al. 2018).

Les données récoltées dans le cadre du projet Hydrosedmar complètent les connaissances existantes sur le fonctionnement hydro-sédimentaire de la baie et fournissent des données de validation pour de futures modélisations hydrodynamiques, voire hydro-sédimentaires. On retiendra en particulier le rôle primordial du chenal d'entrée à 50 m de fond pour la circulation des courants et le fonctionnement bimodal des vagues dans la baie avec la présence simultanée de houles venues du large et de mer de vent générée par les vents locaux. Ces données, mises à disposition sur le site internet du projet, pourront donc être réutilisées pour approfondir certains aspects dans des études ultérieures.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement les participants et contributeurs aux différentes campagnes réalisées dans le cadre du projet Hydrosedmar, à savoir :

- ✓ La société NORTEKMED, qui a réalisé les campagnes de mesures hydrodynamiques pendant les périodes de carême et d'hivernage.
- ✓ La société IMPACT-MER, qui a participé à la préparation de la mission d'implantation des Altus et a apporté sa connaissance des mangroves et des environnements de la baie.
- ✓ La société HISTOIRE D'AIR plongée sous-marine, qui a assuré le transport en bateau dans la baie et le soutien logistique durant les missions terrain.
- ✓ L'IFREMER, qui a prêté gracieusement deux Altus.
- ✓ Aldo Sottolichio (UMR EPOC), qui a contribué au dimensionnement de la campagne de suivi de l'évolution du fond et à l'analyse des mesures.
- ✓ Pascal Lazure (IFREMER) pour ses conseils sur les secteurs et la nature des mesures à réaliser.

En outre, les auteurs remercient la CACEM, la DEAL et la Direction de la Mer de Martinique pour leur contribution à l'organisation et aux demandes d'autorisation relatives aux campagnes.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Description des campagnes de carême et hivernage (NORTEKMED).....	11
2.1. LOCALISATION ET NATURE DES MESURES	11
2.1.1. Mesures continues.....	11
2.1.2. Mesures ponctuelles.....	14
2.2. DEROULEMENT DES CAMPAGNES.....	14
2.2.1. Autorisations.....	14
2.2.2. Validité des mesures.....	14
2.2.3. Conditions météorologiques pendant les campagnes	15
3. Description de la campagne annuelle (BRGM).....	21
3.1. LOCALISATION ET NATURE DES MESURES	21
3.1.1. Suivi en continu de la turbidité à proximité des embouchures	21
3.1.2. Suivi d'un panache turbide par prélèvement d'eau et vol de drone	21
3.1.3. Suivi de l'altimétrie du fond dans les zones de vasières.....	22
3.2. DEROULEMENT DES CAMPAGNES.....	24
3.2.1. Autorisations.....	24
3.2.2. Validité des mesures.....	24
4. Synthèse et analyse des résultats aux points de mesures	25
4.1. NATURE DES FONDS	25
4.2. FONCTIONNEMENT HYDRODYNAMIQUE ET THERMOHALIN	26
4.2.1. Niveau d'eau et marée.....	26
4.2.2. Courants	28
4.2.3. Agitation et vagues	35
4.2.4. Température et salinité au fond.....	40
4.3. TURBIDITE, MATIERE EN SUSPENSION ET ZONES DE DEPOT-EROSION.....	44
4.3.1. Turbidité dans ou à proximité des embouchures des rivières	44
4.3.2. Turbidité et Matières En Suspension (MES) dans la baie.....	45
4.3.3. Turbidité et évolution du fond dans les zones de vasières (mangroves).....	49
4.3.4. Synthèse et pistes d'analyse pour la phase de modélisation.....	49
4.4. FONCTIONNEMENT DE LA BAIE EN CONDITIONS CYCLONIQUES LORS DU PASSAGE DE MARIA.....	50
5. Synthèse et conclusion	51

6. Bibliographie..... 53**Liste des figures**

Figure 1 : Localisation et périmètre de la baie de Fort-de-France définie dans le contrat de baie (2010). Source : CACEM et Essentiel Conseil (2010).....	9
Figure 2. Position des cinq stations de mesures NORTEKMED dans la baie de Fort de France et bathymétrie de la baie de Fort-de-France. Cote des fonds marins par rapport au 0-hydrographique jusqu'à 100 m de profondeur, superposée à une visualisation du relief. MNT de taille de maille 50 m. Réalisé à partir des données Histolitt (SHOM) et Litto3D (SHOM-IGN).....	11
Figure 3. Tripode équipé des instruments et posé au fond.	12
Figure 4. a) Courantomètre houlographe Nortek AWAC b) Sonde CTD Seabird c) Trubidimètre OBS Campbell et son balai Hydrowiper.	12
Figure 5. Ligne de mouillage 1 à proximité du point 1 et bouée de signalisation en surface.....	13
Figure 6. Schéma des mouillages sur les lignes 1 (gauche) et 2 (droite).	13
Figure 7. (a) Tripode du point 4 à la récupération : absence de fouling sur les céramiques de l'AWAC. (b) OBS3+ du Point 4 : capteur propre au bout d'un mois grâce au balai de l'Hydro-wiper.	15
Figure 8. Roses directionnelles des vents à la station météorologique du Lamentin durant les campagnes de carême (A) et hivernage (B). Les roses représentent la répartition en terme de direction de provenance (orientation) et d'intensité (couleurs). Extrait des rapports Vincent (2017a) et Vincent (2017b).....	17
Figure 9. Précipitations mesurées au Lamentin pendant la campagne de carême (A) et d'hivernage (B). Extrait des rapports Vincent (2017a) et Vincent (2017b).	18
Figure 10. Conditions météorologiques pendant la campagne de carême : Rouge : données du modèle CFS-V2 représentatives des conditions générales en Martinique ; Bleu : observations à la station du Lamentin représentatives des conditions à l'intérieur de la baie.....	19
Figure 11. Conditions météorologiques pendant la campagne d'hivernage : Rouge : données du modèle CFS-V2 représentatives des conditions générales en Martinique ; Bleu : observations à la station du Lamentin représentatives des conditions à l'intérieur de la baie.....	19
Figure 12. Visualisation du vent cyclonique de Maria issu du modèle ECMWF. Site WINDY (https://www.windy.com)	20
Figure 13. a) Dispositif de mouillage dans la baie de Génipa b) Dispositif de mouillage au pont Spitz c) Situation du mouillage au pont Spitz.	21
Figure 14. a) Prélèvement d'eau b) Lancé de drone.	22
Figure 15. a) Altus 3 en place, lors de l'entretien du 28/04/2017 b) Récupération des données lors d'une sortie d'entretien.....	23
Figure 16. Position des capteurs de la campagne BRGM sur 1 an et rappel des positions de trois des cinq points de mesure NORTEKMED en milieu et fond de baie (AWAC 2, 3 et 4).	23
Figure 17. Nature des fonds visualisés par les plongeurs et analyses sédimentaires des campagnes NORTEKMED superposées à la carte morphosédimentaire de Guennoc et Duclos (2008). NB : MS = Matière Sèche / D50 = valeur médiane.	26

Figure 18. Niveau moyen (cm) au dessus du zéro hydrographique au niveau du marégraphe de Fort-de-France sur les mois de l'année 2017. Données source : SONEI.	26
Figure 19. Niveau de l'eau au dessus du niveau moyen au Point 1 pendant la campagne de carême.	27
Figure 20. Zoom sur les fluctuations du niveau de l'eau au dessus du niveau moyen sur les 5 points de mesure pendant la campagne de carême. Extrait du rapport Vincent (2017a).27	
Figure 21. Différence journalière entre le niveau de la marée prédite le plus haut et le plus bas. Série calculée à partir des données FES2014, point situé au large (14.567°N;-61,188°E).	27
Figure 22. Tableau récapitulatif des moyennes et maximas de vitesse de courant relevés sur les 5 points de mesure pendant les 2 campagnes. Extrait du rapport Vincent (2017b).29	
Figure 23. Roses des courants relevés pendant la campagne de carême. Les roses représentent la répartition en terme de direction de propagation (orientation) et d'intensité (couleurs).	30
Figure 24. Roses de courant relevés pendant la campagne d'hivernage. Les roses représentent la répartition en terme de direction de propagation (orientation) et d'intensité (couleurs).	31
Figure 25. Profil 3D de la vitesse et de la direction des courants au point 1 pendant la campagne de d'hivernage. Extrait du rapport Vincent (2017b).	32
Figure 26. Profil 3D de la vitesse et de la direction des courants au point 1 pendant la campagne de carême. Extrait du rapport Vincent (2017a).....	33
Figure 27. Zoom sur la période de mesure du 22 au 28 septembre 2018. A : Intensité et direction du courant au fond au Point 1. B : Hauteur d'eau et turbidité au fond au Point 1. Extrait du rapport Vincent (2017b).	34
Figure 28. Tableau récapitulatif des moyennes et maximas de paramètres de houle relevés sur les 5 points de mesure NORTEK MED pendant les campagnes de carême et hivernage. Les deux directions indiquées correspondent aux directions principales et secondaires en terme d'énergie. Extrait du rapport Vincent (2017b).	37
Figure 29. Hauteur significative des vagues mesurées au milieu de la baie (Point 2) pendant la période de carême. Extrait du rapport Vincent (2017a).	37
Figure 30. Roses des houles (direction de provenance) relevées pendant la campagne de carême. Les roses représentent la répartition en terme de direction de provenance (orientation) et de hauteur significative (couleurs).....	38
Figure 31. Roses des houles (direction de provenance) relevées pendant la campagne d'hivernage. Les roses représentent la répartition en terme de direction de provenance (orientation) et de hauteur significative (couleurs).....	39
Figure 32. Comparaison des valeurs de températures mesurées en période de carême et hivernage. Extrait du rapport Vincent (2017b).....	41
Figure 33. Comparaison des valeurs de salinité mesurées en période de carême et hivernage. Extrait du rapport Vincent (2017b).....	41
Figure 34. Température (haut) et salinité (bas) au fond en Carême. Extrait rapport Vincent (2017a).	42
Figure 35. Température (haut) et salinité (bas) au fond en Carême. Extrait rapport Vincent (2017b).	43
Figure 36. Mesures de turbidité au pont Spitz (bleu) et pluviométrie à la station de l'aéroport du Lamentin (gris) de mars à décembre 2017.....	44

Figure 37. Mesures de turbidité à proximité de l'embouchure de la Rivière Salée (bleu) et pluviométrie à la station de l'aéroport du Lamentin (gris) de mars à décembre 2017.	44
Figure 38. Turbidité mesurée sur le transect au droit de la Rivière Salée tous les 500m. Les valeurs au dessus des points indiquent la turbidité (NTU) au fond et les valeurs en dessous la turbidité en surface.	45
Figure 39. Images de drone prises à l'embouchure de la Rivière Lézarde. La zone cerclée indique la trace du passage d'un bateau qui laisse apparaître une eau plus claire sous la pellicule de surface.	45
Figure 40. Caractéristiques des turbidités mesurées pendant les campagnes de carême et hivernage. Extrait du rapport Vincent (2017b).	46
Figure 41. Variations de la turbidité au fond pendant les campagnes de carême (haut) et hivernage (bas). Remarque : sur la campagne de carême la turbidité au point 3 n'est pas considérée comme valide. Extraits des rapports Vincent (2017a) et Vincent (2017b).	47
Figure 42. Profondeurs de rétrodiffusion du signal acoustique de l'Altus.	49

Liste des tableaux

Tableau 1. Localisation des points de mesure NORTEKMED dans la baie.	13
Tableau 2. Coordonnées géographiques de la station du Lamentin et du point d'extraction CFS-V2	16
Tableau 3. Synthèse des valeurs maximales relevées sur les 5 points de mesure lors des 4 opérations de prélèvement de sédiments (pose et relève en carême et hivernage). NB : MS = Matière Sèche.	25
Tableau 4 : Résultats d'analyse des prélèvements d'eau fond/milieu/surface sur la zone d'étude. Valeurs relevées lors de la pose et la relève des instruments de la campagne de carême (mg/L). NB : MVS = Matières Volatiles en Suspension / MM = Matières Minérales.	48
Tableau 5 : Résultats d'analyse des prélèvements d'eau fond/milieu/surface sur la zone d'étude. Valeurs relevées lors de la pose et la relève des instruments de la campagne d'hivernage (mg/L). NB : MVS = Matières Volatiles en Suspension / MM = Matières Minérales.	48

Liste des annexes

Annexe 1 Instrumentation des 5 points de mesure NORTEKMED pendant les campagnes de carême et hivernage	55
Annexe 2 Validité des mesure NORTEKMED pendant les campagnes de carême et hivernage	59
Annexe 3 Instrumentation des mesures complémentaires du BRGM sur 1 an	65
Annexe 4 Validité des mesures complémentaires du BRGM sur 1 an	69

1. Introduction

L'amélioration des connaissances sur le fonctionnement hydro-sédimentaire de la baie de Fort-de-France fait partie des actions inscrites dans le contrat de baie de Fort-de-France porté par la Communauté Agglomération Centre Martinique (CACEM). Dans le cadre du volet 4 de la convention de Recherche et Développement partagés CACEM – BRGM (2012-2014), une collecte des besoins a été effectuée par le BRGM auprès des différents acteurs de la baie (Idier et al., 2014). Parmi les besoins identifiés figure notamment la nécessité d'améliorer les connaissances sur les courants, les flux sédimentaires et la turbidité, qui ont des implications sur différentes thématiques à enjeux pour la baie de Fort-de-France telles que la biodiversité, le suivi des polluants ou la modification du trait de côte.

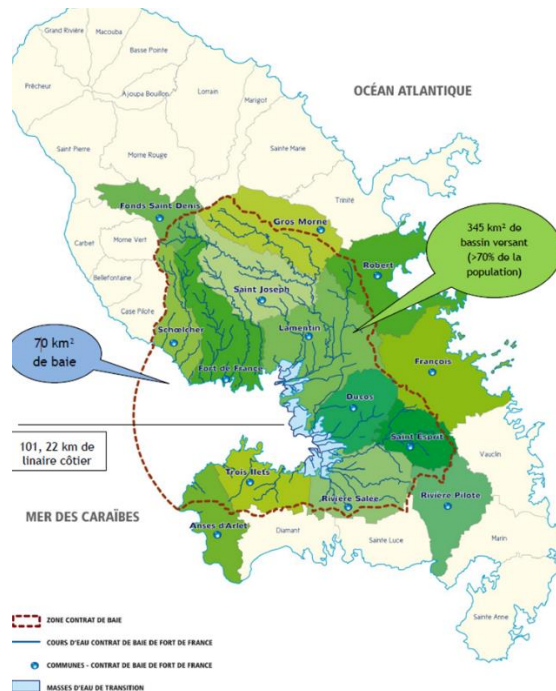


Figure 1 : Localisation et périmètre de la baie de Fort-de-France définie dans le contrat de baie (2010). Source : CACEM et Essentiel Conseil (2010)

Sur la base de ces besoins, un programme général de modélisation hydro-sédimentaire, intitulé « projet HydroSedMar » a été défini dans le but d'apporter des éléments de compréhension sur le fonctionnement de la baie. Ce projet vise à la fois à produire des données hydro-sédimentaires par acquisition et modélisation et à communiquer sur ces données auprès des acteurs de la baie, de la communauté scientifique et de la population. Il est organisé en 3 actions: (1) Acquisition et analyse de données, (2) Modélisation hydro-sédimentaire et (3) Diffusion et communication.

Dans le cadre de l'action 1, deux campagnes de mesures ont été réalisées par la société NORTEKMED afin de collecter des données représentatives en période de carême (du 22/02/2017 au 04/04/2017) et d'hivernage (du 13/09/2017 au 18/10/2017). Ces campagnes ont fait l'objet de rapports spécifiques de la société NORTEKMED qui décrivent de manière exhaustive les opérations de pose et de dépose, l'instrumentation utilisée, le contrôle qualité et le post-traitement des mesures, une description des résultats point par point (Carême : Vincent, 2017a ; Hivernage : Vincent, 2017b).

Les variables suivantes ont été mesurées en 5 points de la baie :

- De manière continue : hauteur d'eau, courants sur la tranche d'eau, vagues (hauteur, période et direction), température-salinité-turbidité au fond.
- De manière ponctuelle au moment de la pose et de la relève des capteurs : concentration de matière en suspension et température-salinité-turbidité sur la tranche d'eau, nature du fond et des sédiments.

Parallèlement, le BRGM a effectué une campagne sur une durée de 1 an (de février 2017 à janvier 2018) afin de mieux caractériser la turbidité au niveau des embouchures de la rivière Salée et la rivière Lézarde ainsi que l'évolution des fonds dans les zones de vasière de la baie. Cette campagne fait également l'objet d'un rapport spécifique (Desmazes et al., 2018) qui décrit de manière exhaustive les opérations de pose et d'entretien, l'instrumentation utilisée, le contrôle qualité et le post-traitement des mesures, une description des résultats point par point.

Les variables suivantes ont été mesurées :

- De manière continue : profondeur des fonds marins sur 4 points de mesure situés aux abords des mangroves, turbidité et courant à proximité des embouchures des rivières Salée et Lézarde
- De manière ponctuelle pendant la campagne : turbidité à proximité des embouchures des rivières Salée et Lézarde en période de crue.

Les données recueillies ont pour objectif d'apporter un premier niveau de compréhension du fonctionnement de la baie et de fournir des éléments de validation pour la phase de modélisation. Toutes les données validées et post-traitées seront diffusées via le site internet du projet (<http://hydrosedmar.brgm.fr>) à la fin de celui-ci.

Le présent rapport propose une synthèse des informations et des éléments de compréhension recueillis à travers ces deux campagnes. Il se structure en quatre parties :

- ✓ Description des deux campagnes de 6 semaines réalisées par la société NORTEKMED ;
- ✓ Description de la campagne sur 1 an réalisée par le BRGM ;
- ✓ Synthèse des résultats variable par variable ;
- ✓ Conclusion.

2. Description des campagnes de carême et hivernage (NORTEKMED)

2.1. LOCALISATION ET NATURE DES MESURES

2.1.1. Mesures continues

Les deux campagnes (carême et hivernage 2017) s'appuient chacune sur le mouillage de capteurs en 5 points de la baie situés entre 5 m et 50 m de fond (cf. Figure 2 et Tableau 1). Chaque point de mesure a été instrumenté à l'aide d'un tripode posé au fond (cf. Figure 3) avec les appareils suivants (cf. Figure 4) :

- ✓ un courantomètre/houlographe AWAC (1 MHz ou 600 kHz)
- ✓ une sonde CTD SBE37SM de Seabird mesurant la température et la salinité
- ✓ un turbidimètre OBS3+ de Campbell Scientific équipé d'un balai auto-nettoyant.

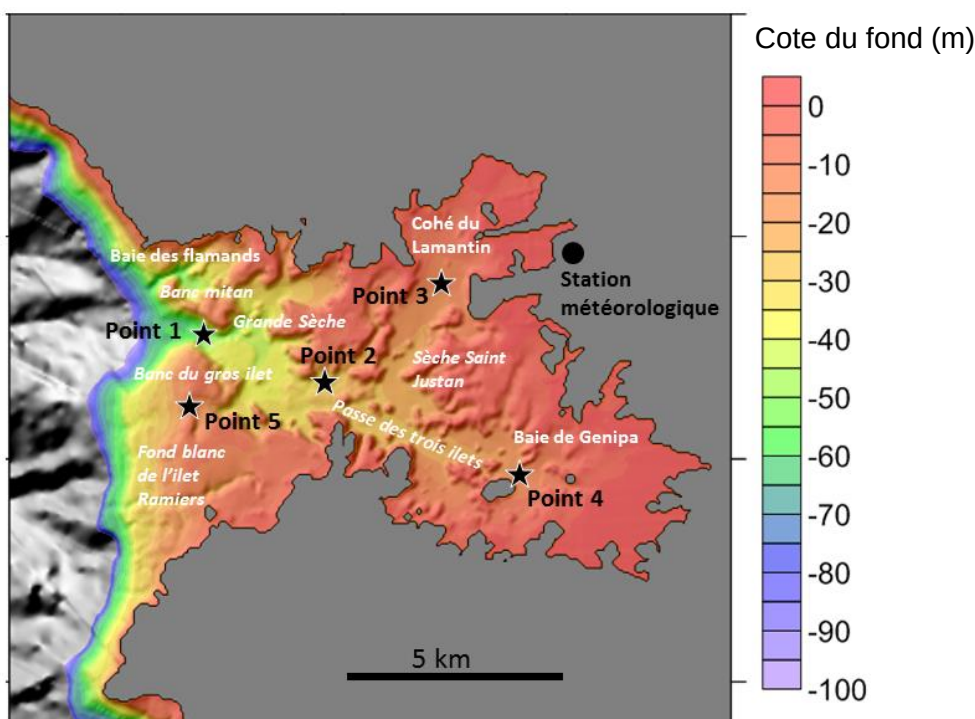


Figure 2. Position des cinq stations de mesures NORTEKMED dans la baie de Fort de France et bathymétrie de la baie de Fort-de-France. Cote des fonds marins par rapport au 0-hydrographique jusqu'à 100 m de profondeur, superposée à une visualisation du relief. MNT de taille de maille 50 m. Réalisé à partir des données Histolitt (SHOM) et Litto3D (SHOM-IGN).

L'AWAC de la société Nortek est un profileur de courant et un capteur de houle directionnelle et d'agitation, le tout dans un seul instrument. Il permet de mesurer la vitesse et direction du courant sur des couches de taille programmables du fond jusqu'à la surface. Tous les types de vague et d'agitation sont mesurables incluant les houles longues, les houles de tempêtes, les mers de vent. Les paramètres de vague récupérés sont la hauteur, la période et la direction.

La sonde CTD SBE 37 SM (SEABIRD) est la sonde de référence en matière de température et salinité. Il s'agit d'une sonde CTD de haute précision qui dispose d'une interface série, d'une

batterie interne et d'une mémoire Flash. Elle est conçue en titane et en matériaux anticorrosion de façon à minimiser la maintenance. Il s'agit des sondes utilisées par le SHOM.

Le turbidimètre OBS 3 + de Campbell Scientific est une sonde compacte (corps en Titane) et très robuste sur le terrain. Les turbidimètres mis en œuvre sont neufs. La technologie de mesure est une technologie optique (l'optique de la sonde émet de la lumière infra-rouge qui est diffusée et réfléchiée par la matière en suspension dans l'eau, la mesure de l'intensité du signal lumineux rétrodiffusé permet la mesure de la turbidité de l'eau). La gamme sélectionnée est 0-250 NTU avec une précision de 0,5 NTU ou 2% de lecture.

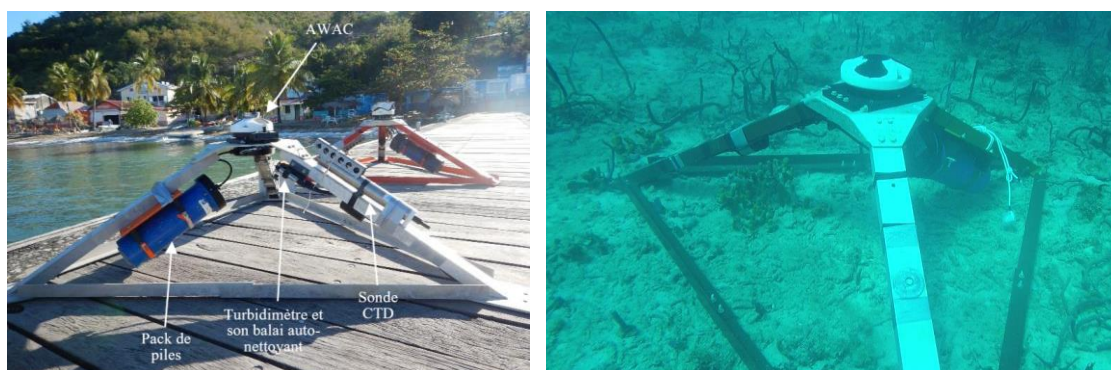


Figure 3. Tripode équipé des instruments et posé au fond.

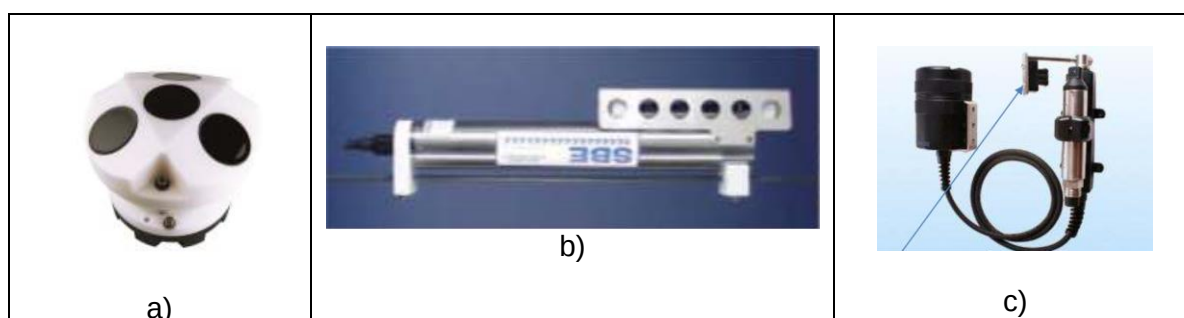


Figure 4. a) Courantomètre houlographe Nortek AWAC b) Sonde CTD Seabird c) Turbidimètre OBS Campbell et son balai Hydrowiper.

En complément :

- ✓ Le point 4 en fond de baie a été instrumenté d'un Ocean Sensor OSSI appartenant au BRGM pour la mesure des houles longues (type seiches) sur les deux campagnes. En effet, les AWAC mesurant de manière alternative les vagues et les courants, les données recueillies ne permettent pas de mettre en évidence ce type de phénomène.
- ✓ Deux lignes de mouillage autour du point 1 ont été instrumentées de sonde CTD¹ SEABIRD ou AQUATEC pour mesurer la température, salinité et turbidité de manière continue sur la colonne d'eau pour la campagne d'hivernage uniquement (cf. Figure 5 et Figure 6). La ligne 1 est située à proximité directe du point 1 par 50 m de fond et la ligne 2 est positionnée un peu plus au nord sur le tombant du banc Mitau.

Remarque : ces données complémentaires ne sont pas analysées dans le présent rapport car elles seront exploitées dans une phase ultérieure du projet. Elles seront néanmoins mises à disposition au même titre que les autres données.

¹ Conductivity, Temperature, Depth



Figure 5. Ligne de mouillage 1 à proximité du point 1 et bouée de signalisation en surface.

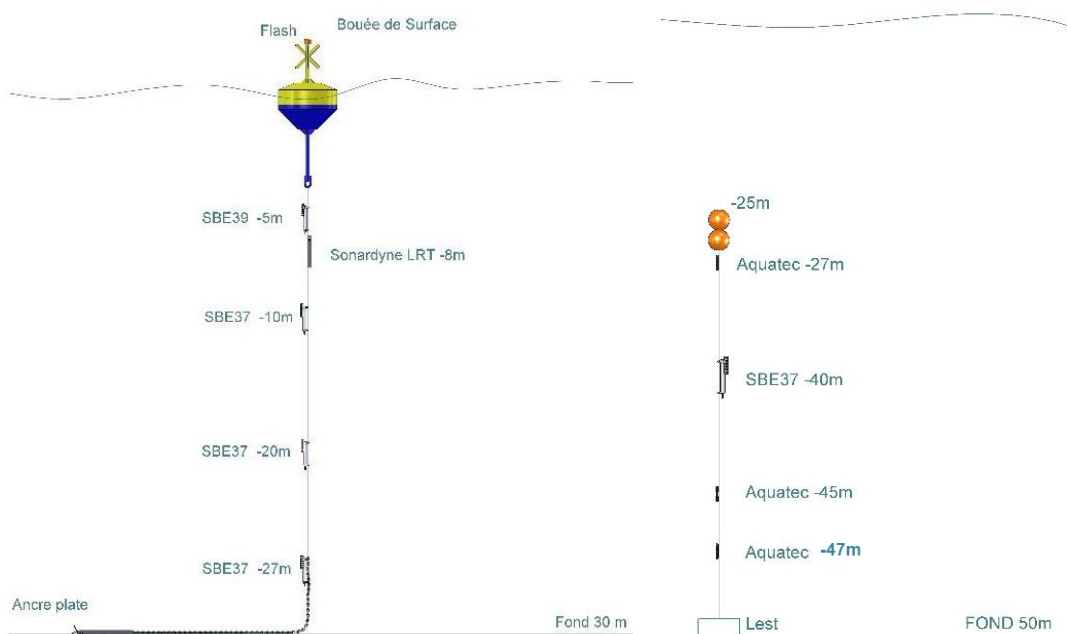


Figure 6. Schéma des mouillages sur les lignes 1 (gauche) et 2 (droite).

Tableau 1. Localisation des points de mesure NORTEKMED dans la baie.

	Longitude (WGS84)	Latitude (WGS84)	Profondeur	Nature du fond (campagne carême)
Point 1 Chenal d'entrée	-61° 4,634'	14° 34,786'	50 m	Vaseux
Ligne 1	-61° 4,776'	14° 35,034'	30m	Vaseux
Ligne 2	-61° 4,639'	14° 34,798'	50m	Vaseux
Point 2 Milieu de baie	-61° 3,321'	14° 34,220'	30 m	Très vaseux
Point 3 Cohé Lamentin	-61° 1,875'	14° 35,381'	14 m	Très vaseux - Crème de vase
Point 4 Baie de Génipa	-61° 0,956'	14° 33,189'	18 m	Très vaseux - Crème de vase
Point 5 Banc du Gros Ilet	-61° 4,971'	14° 33,967'	15 m	Fond dur recouvert de sables et de coraux

2.1.2. Mesures ponctuelles

Au moment de l'installation et de la récupération des systèmes de mesure, trois types de manipulations / mesures sont également effectuées :

- ✓ des mesures de température, salinité et turbidité de l'eau sur la colonne d'eau sont effectuées au droit des 5 points de mesure à l'aide d'une sonde CTD Seabird et d'un turbidimètre OBS3+ ;
- ✓ des prélèvements d'eau (2L) sont effectués au droit des 5 points de mesure à 50 cm au-dessus du fond, au milieu de la colonne d'eau et à 50 cm sous la surface. Les échantillons d'eau sont conditionnés en glacière réfrigérée et acheminés au laboratoire d'analyse Laboceia pour analyser les matières en suspension ;
- ✓ des prélèvements de sédiment (1kg) sont effectués au niveau des 5 points de mesure puis acheminés au laboratoire d'analyse Laboceia pour analyser la granulométrie, les matières organiques et minérales, les matières sèches, les carbonates.

L'instrumentation et la programmation des 5 points de mesure sont détaillées dans l'Annexe 1.

2.2. DEROULEMENT DES CAMPAGNES

2.2.1. Autorisations

L'occupation temporaire du domaine public maritime a été autorisée par le Préfet de Martinique le 11/01/2017 par l'arrêté R02-2017-01-11-001.

2.2.2. Validité des mesures

Pour la campagne de carême, l'ensemble des opérations s'est correctement déroulé. Lors de la récupération des instruments, il est vérifié que les zones sensibles des AWAC n'ont pas été affectées par le fouling (Figure 7). Deux éléments peuvent être cependant relevés :

- ✓ l'AWAC du point 4 (Baie de Génipa) n'a fonctionné que 30 minutes après sa mise à l'eau puis a cessé l'acquisition des mesures. Il est possible qu'un câble ait bougé lorsque le tripode s'est ensouillé dans le sédiment. Sur ce point, les mesures de houle/courant et de turbidité (qui sont stockées sur le data logger de l'AWAC) sont donc absentes. En revanche, les mesures CTD ont fonctionné durant la période de mesure ;
- ✓ Les turbidimètres des points 1 et 3 ont très bien fonctionné durant la campagne de mesure mais des problèmes de salissures ont été observés. Ceci a nécessité un nettoyage des données important (51 % des données ont été validées pour le point 1 et 33% pour le point 3). Il a été décidé de ne pas exploiter les données de turbidité du point 3.

Pour la campagne d'hivernage, l'ensemble des opérations s'est correctement déroulé également. Les cinq AWAC ont parfaitement fonctionné. Sur les lignes de mesure continue de température et salinité à l'entrée de la baie, deux éléments sont cependant à noter :

- ✓ Le 21 Septembre 2017 (sur le créneau horaire 9h30 - 10h30), le service des Phares et Balises a relevé par erreur la bouée sur leur bateau. Les sondes de la ligne de la bouée (Ligne 1) ont été déplacées dans la colonne d'eau, les données de ce créneau horaire ont été enlevées du jeu de données ;

- ✓ La sonde à 40 m a présenté un dysfonctionnement lié à une entrée d'eau dans le capteur. Dès la récupération des instruments, la sonde a été envoyée à Seabird pour tenter d'extraire les données. Malheureusement, la mémoire n'a pas pu être relue.

L'Annexe 2 présente, par campagne et par point, des tableaux de synthèse des variables validées et disponibles.

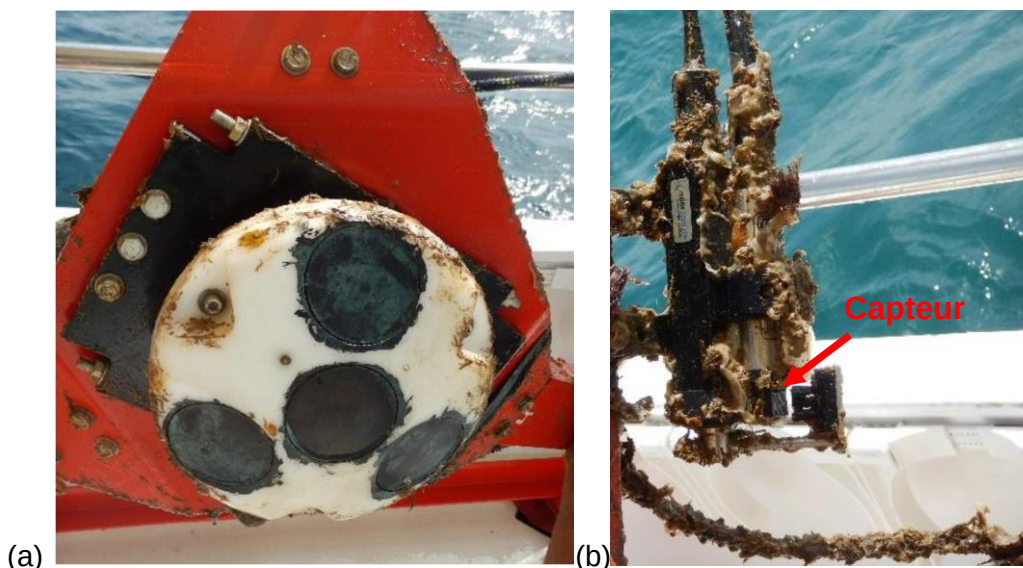


Figure 7. (a) Tripode du point 4 à la récupération : absence de fouling sur les céramiques de l'AWAC. (b) OBS3+ du Point 4 : capteur propre au bout d'un mois grâce au balai de l'Hydro-wiper.

2.2.3. Conditions météorologiques pendant les campagnes

Conditions types en Martinique en période de carême et hivernage (cf. Météo-France)

Située dans l'archipel des Petites Antilles, la Martinique vit au rythme de deux saisons principales d'un climat tropical :

- ✓ la saison sèche, appelée le carême (de janvier à mi-avril) ;
- ✓ la saison des pluies, appelée hivernage ou saison cyclonique (de juillet à octobre).

Elles sont entrecoupées par des périodes de transition plus ou moins fluctuantes. Durant l'année, les températures varient peu (avec des moyennes mensuelles entre 20 et 25°C), et un régime d'alizé d'Est assure une ventilation relativement constante sur l'île (avec des moyennes mensuelles entre 20 et 30 km/h enregistrées sur la côte atlantique). De manière générale, la saison sèche est très légèrement moins chaude mais plus venteuse.

Conditions locales dans la baie pendant les campagnes de carême (du 22/02/2017 au 04/04/2017) et d'hivernage (du 13/09/2017 au 18/10/2017)

Les données météorologiques suivantes ont été récupérées proche de la baie (cf. Tableau 2) :

- ✓ Observations de la station météorologique du Lamentin de Météo-France (intensité et direction du vent, cumuls de pluie) localisée au niveau de l'aéroport (cf. Figure 2) ;

- ✓ Simulations du modèle météorologique CFS-V2² (intensité et direction du vent) au point le plus proche de la station du Lamentin.

Tableau 2. Coordonnées géographiques de la station du Lamentin et du point d'extraction CFS-V2

Point de mesure/ simulation	Latitude WGS84	Longitude WGS84
Lamentin Aéroport	14° 35.700' N	60° 59.700' W
CFS-V2	14° 36.000' N	60° 57.000' W

Ces données permettent de caractériser les conditions réelles locales dans la baie au moment des campagnes (cf. Figure 8 à Figure 11). Les données de la station du Lamentin sont caractéristiques des conditions à l'intérieur de la baie alors que les données du modèle CFS-V2 (qui a une résolution spatiale de 0,25°) sont plutôt représentatives des conditions générales autour de la Martinique.

De manière générale, le vent dans la baie n'est jamais très fort (< 30 km/h durant 90 % de la période de mesure) mais il souffle en permanence une légère à jolie brise, vent force 2 à 4 (cf. Figure 8). La vitesse moyenne du vent est un peu plus élevée pendant la campagne de carême avec une moyenne à la station du Lamentin de 18.3 km/h et 13 km/h pour la campagne d'hivernage. La provenance du vent est essentiellement concentrée sur les secteurs³ E et ESE. On observe tous les jours une augmentation de l'intensité du vent pendant la journée et une diminution la nuit. Les vents locaux suivent le régime des Alizés et sont renforcés le jour par la brise thermique de terre.

Concernant la pluviométrie (cf. Figure 9), des précipitations sont observées fréquemment sur la période de carême mais restent relativement faibles (<20 mm/jour). Sur la période d'hivernage, les précipitations sont un peu plus importantes, on observe 6 journées marquées par des pluviométries supérieures à 30 mm/jour.

Sur la période de carême, les conditions météorologiques sont assez variables à la station du Lamentin sur la durée de la campagne (cf. Figure 10 et Figure 11):

- ✓ Du 20 au 25 février, les vents sont de directions éparses et inhabituelles en provenance de l'ouest accompagnés d'une chute de la pression atmosphérique autour de 1010 hPa ;
- ✓ Du 26 février au 12 mars des vents plus forts sont observés en provenance de l'ENE ce qui induit une alternance jour/nuit atténuée comparativement aux autres périodes ;
- ✓ Du 13 mars au 2 avril les vents redeviennent plus faibles avec une composante jour/nuit plus forte et des directions de provenance plus éparses en fin de période : ESE le jour (renforcement brise de terre) et ENE la nuit (alizés).

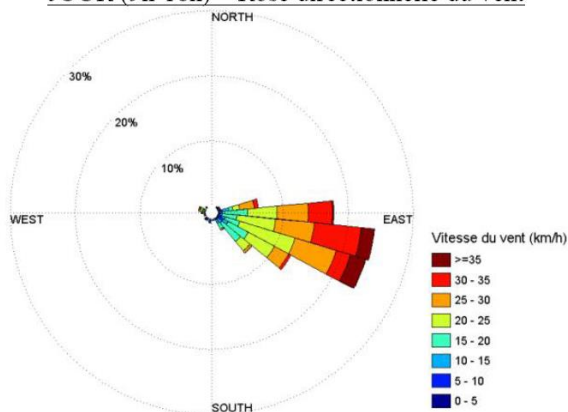
Pendant la campagne d'hivernage, les conditions sont relativement homogènes hormis pendant le passage du cyclone Maria (cf. Figure 12). Maria est passé à 50 km au Nord des côtes Martiniquaises le 18 septembre 2017, il était alors classé en ouragan de catégorie 4. Le vent relevé au niveau de l'aéroport du Lamentin augmente soudainement dans la journée du 18 septembre 2017 et tourne de l'ESE au N puis vers le NW jusqu'à l'WSW. Les vents maximaux relevés au niveau du Lamentin pendant le cyclone sont de l'ordre de 60 km/h soit force 7. La quantité maximale de pluie relevée est associée au passage du cyclone avec près de 80 mm tombés dans la journée. La période du 16 au 18 octobre a également été particulièrement pluvieuse.

² Modèle CFS *Climate Forecast system* de la NOAA

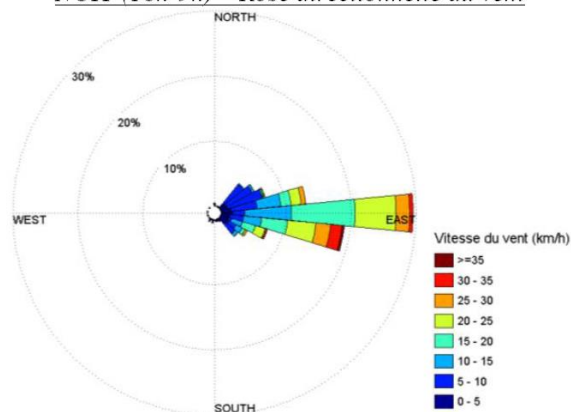
³ Liste des abréviations concernant les directions pour l'ensemble du rapport : N : Nord ; S : Sud ; W : Ouest ; E : Est

A

JOUR (9h-18h) – Rose directionnelle du vent

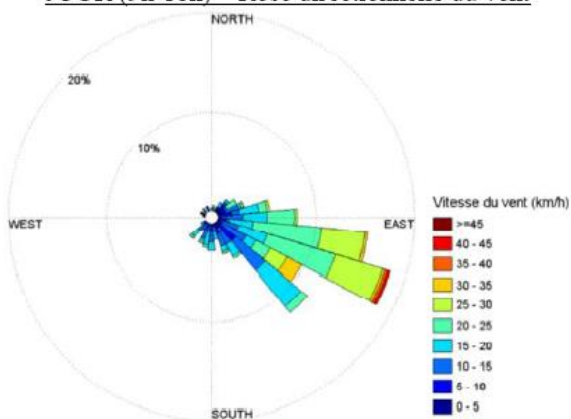


NUIT (18h-9h) – Rose directionnelle du vent



B

JOUR (9h-18h) – Rose directionnelle du vent



NUIT (18h-9h) – Rose directionnelle du vent

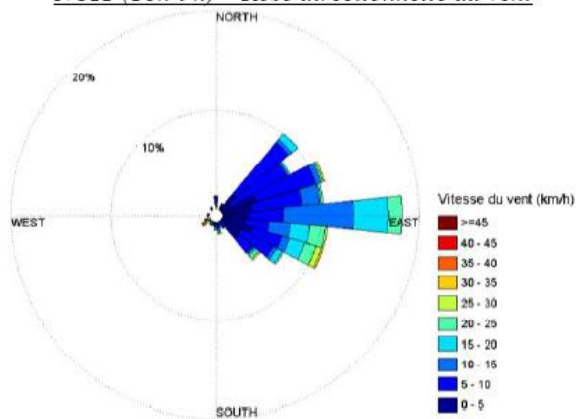
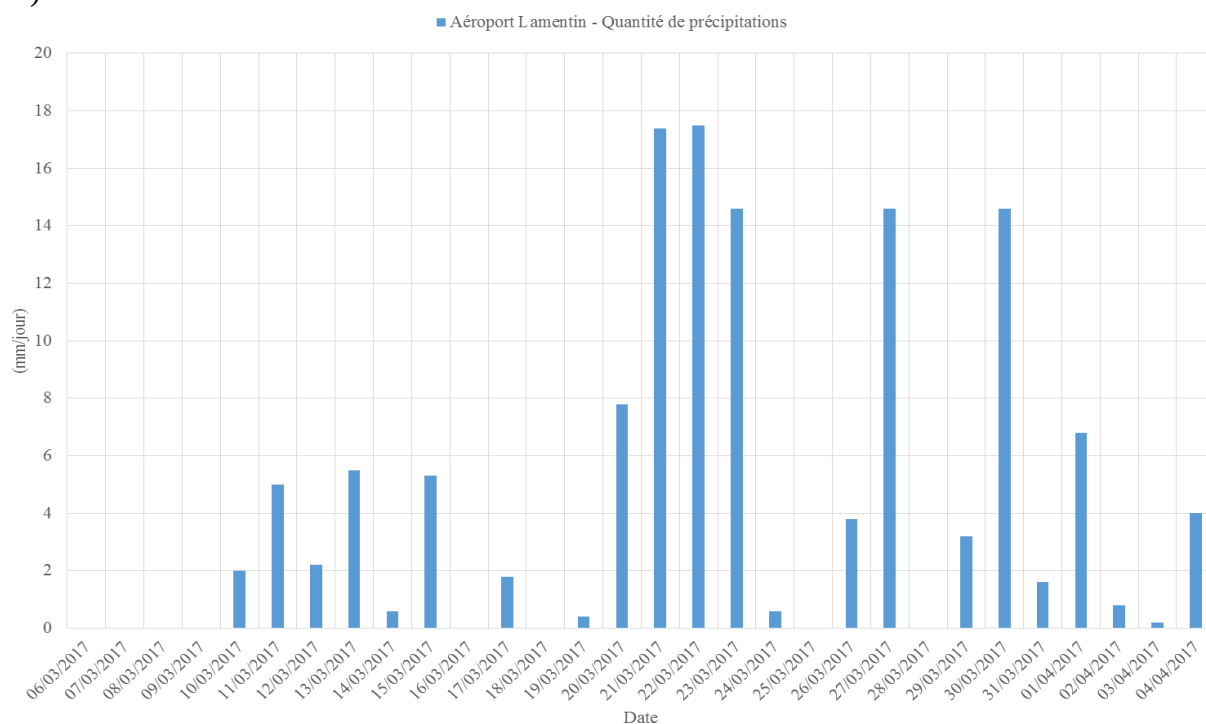


Figure 8. Roses directionnelles des vents à la station météorologique du Lamentin durant les campagnes de carême (A) et hivernage (B). Les roses représentent la répartition en terme de direction de provenance (orientation) et d'intensité (couleurs). Extrait des rapports Vincent (2017a) et Vincent (2017b).

A)



B)

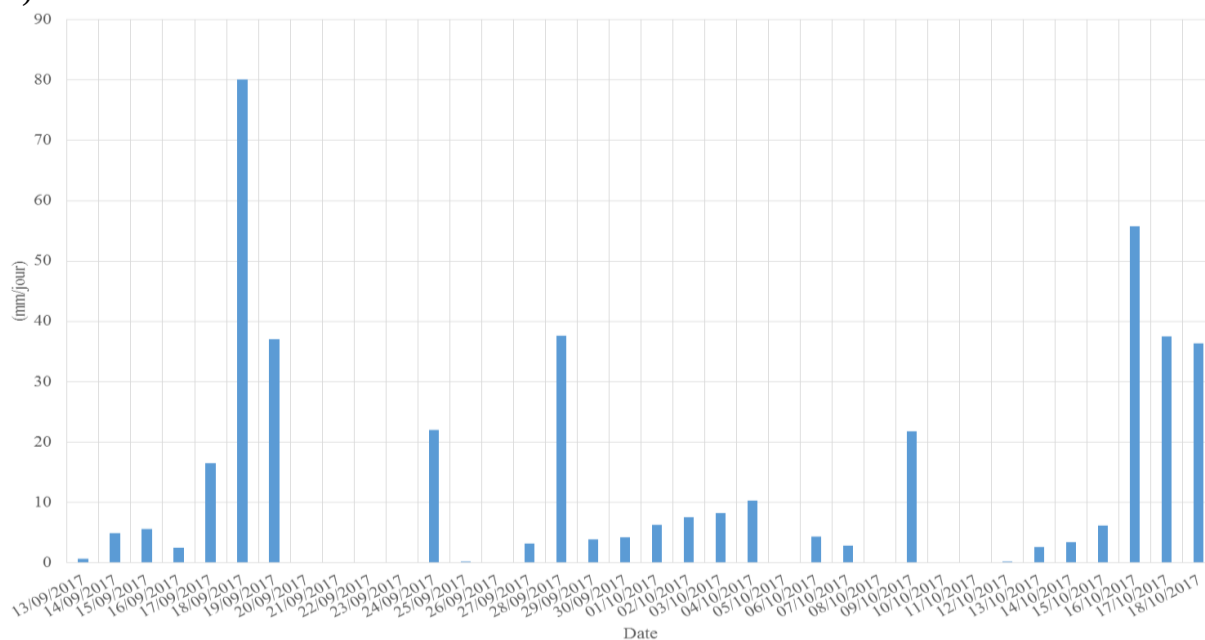


Figure 9. Précipitations mesurées au Lamentin pendant la campagne de carême (A) et d'hivernage (B). Extrait des rapports Vincent (2017a) et Vincent (2017b).

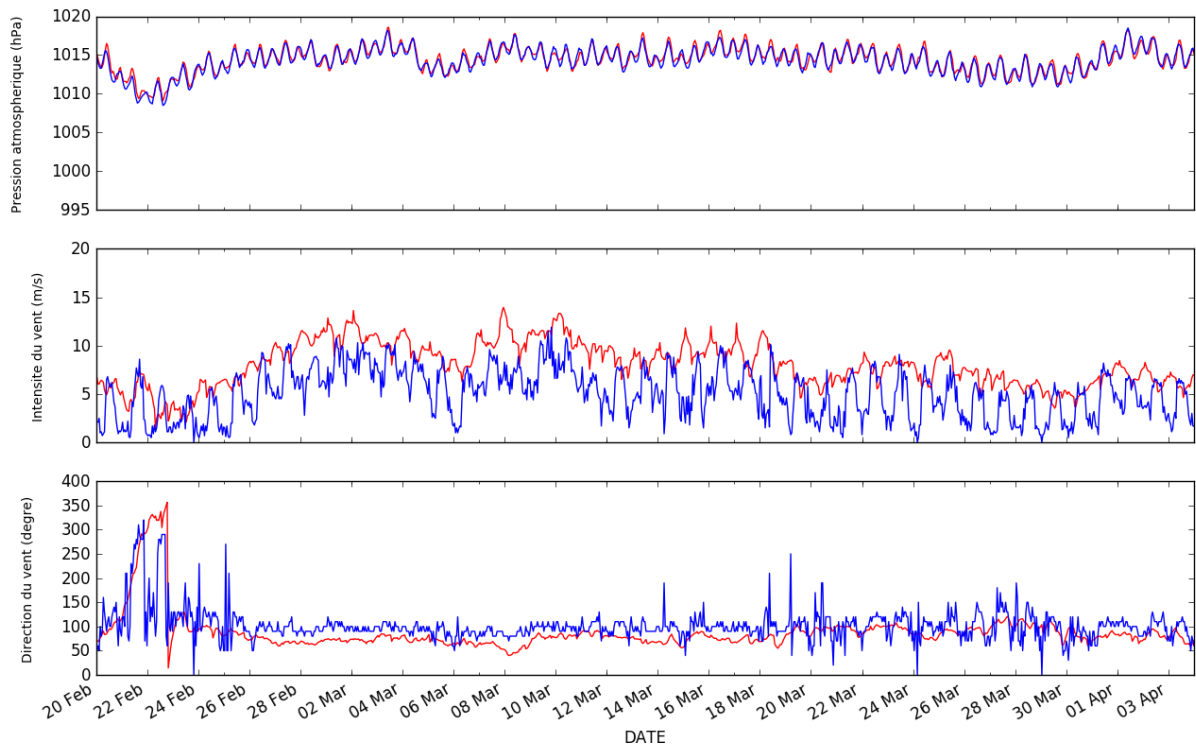


Figure 10. Conditions météorologiques pendant la campagne de carême : Rouge : données du modèle CFS-V2 représentatives des conditions générales en Martinique ; Bleu : observations à la station du Lamentin représentatives des conditions à l'intérieur de la baie.

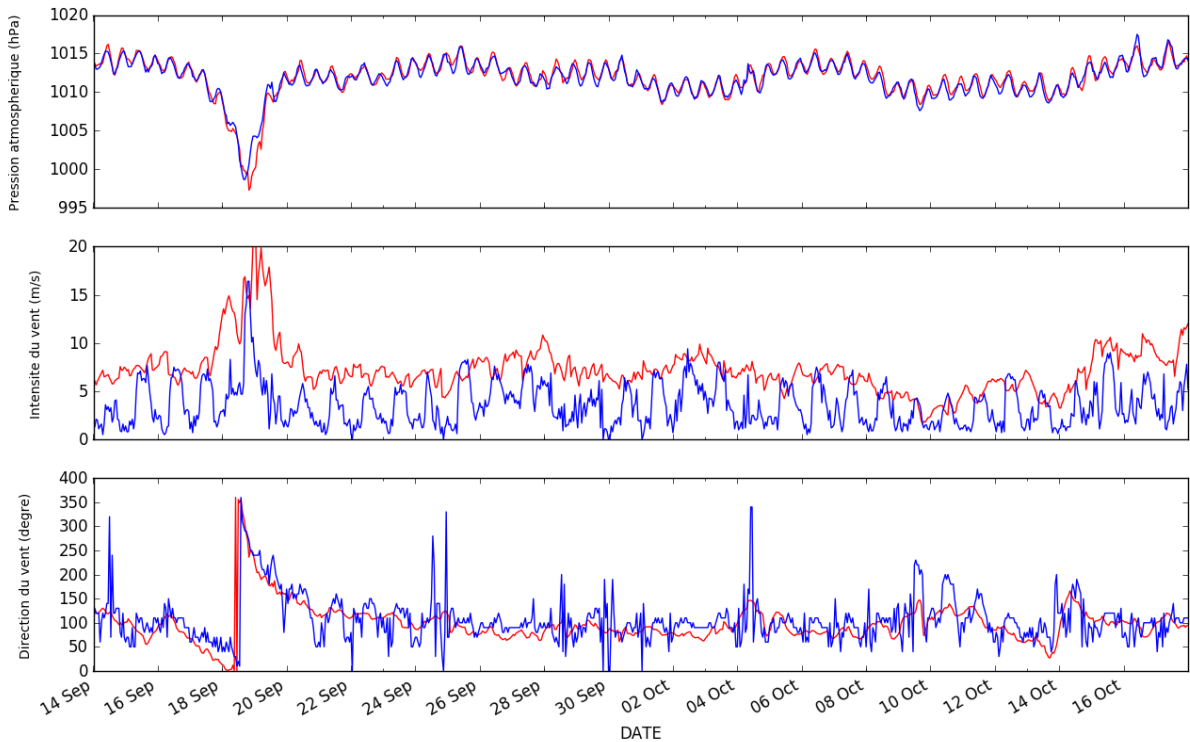


Figure 11. Conditions météorologiques pendant la campagne d'hivernage : Rouge : données du modèle CFS-V2 représentatives des conditions générales en Martinique ; Bleu : observations à la station du Lamentin représentatives des conditions à l'intérieur de la baie.

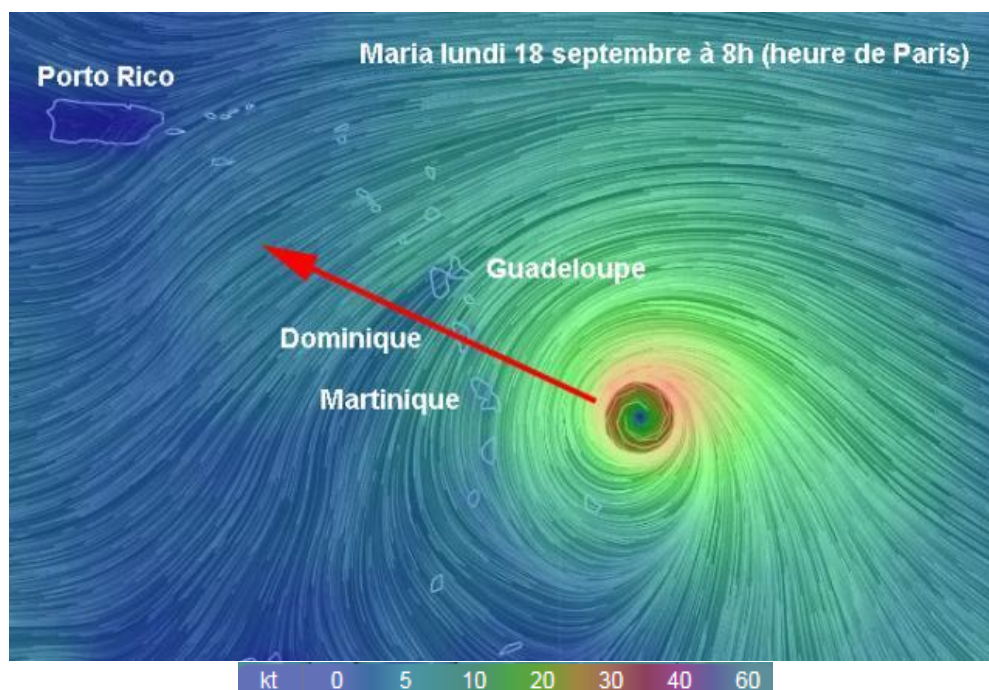


Figure 12. Visualisation du vent cyclonique de Maria issu du modèle ECMWF⁴. Site WINDY (<https://www.windy.com>)

⁴ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

3. Description de la campagne annuelle (BRGM)

3.1. LOCALISATION ET NATURE DES MESURES

3.1.1. Suivi en continu de la turbidité à proximité des embouchures

Un dispositif de suivi de la turbidité sur un an a été mis en place sur deux secteurs (cf. Figure 13 et Figure 16) :

- ✓ Au niveau du pont Spitz, environ 3 km en amont de l'embouchure de la rivière Lézarde. Sur ce point le dispositif a été fixé le long des palplanches qui bordent la rivière ;
- ✓ Dans la baie de Génipa, à environ 1 km de l'embouchure de la rivière Salée. Le mouillage a été placé à environ 5 m de profondeur, au pied d'une courte pente qui marque une remonté vers les très petits fonds.

Pour suivre l'évolution de la turbidité dans le temps, l'instrumentation déployée est composée d'un turbidimètre Campbell OBS3+ associé à un courantomètre ponctuel Nortek Aquadopp. La mesure de turbidité est effectuée par rétrodiffusion optique et enregistrée sur le courantomètre qui mesure également la pression et la vitesse du courant en un point devant le capteur. Le capteur OBS3+ permet une mesure sur 2 niveaux de turbidité simultanément. Les appareils disponibles pour cette campagne sont fonctionnels pour une gamme de 250 à 1000 NTU ou 1000 à 4000 NTU. Un balai de nettoyage automatique est installé sur le turbidimètre optique pour éviter les salissures qui dégradent fortement les mesures.

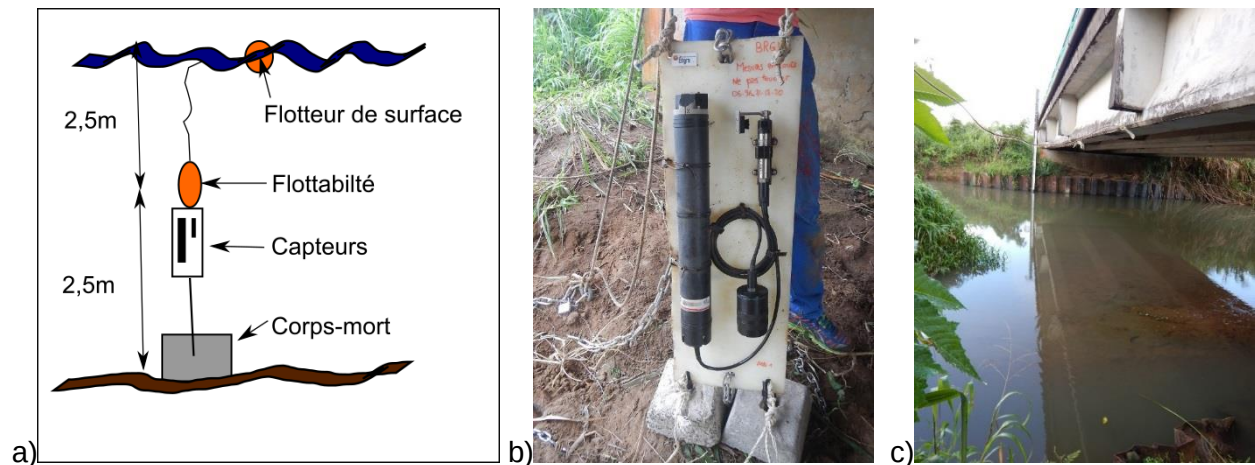


Figure 13. a) Dispositif de mouillage dans la baie de Génipa b) Dispositif de mouillage au pont Spitz c) Situation du mouillage au pont Spitz.

3.1.2. Suivi d'un panache turbide par prélèvement d'eau et vol de drone

En complément, une campagne a été réalisée le 22/09/2017, deux jours après le passage du cyclone Maria pour suivre la turbidité au droit des embouchures des rivières Salée et Lézarde (cf. Figure 14 et Figure 16):

- ✓ Sur une série de points espacés de 500 m au droit des embouchures, des prélèvements d'eau ont été effectués (un en surface et un au fond) à l'aide d'une bouteille Niskin ainsi que des mesures de température, salinité et turbidité à l'aide d'une sonde CTD et d'une sonde InSitu Aquatroll ;

- ✓ Parallèlement, des vols de drones ont été effectués par la Société Carige autour de chaque point de prélèvement.

Pour optimiser la mise en place de ces mesures, le BRGM a fait appel aux compétences de la société Impact-Mer qui a participé à la campagne.

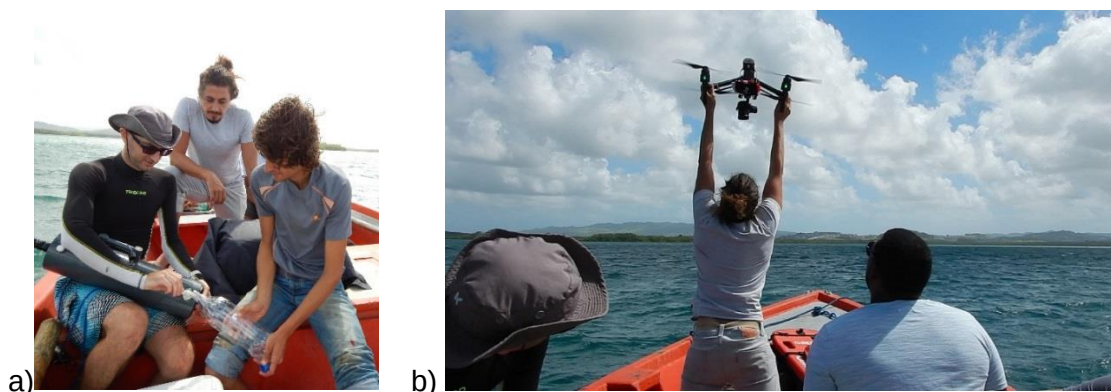


Figure 14. a) Prélèvement d'eau b) Lancé de drone.

3.1.3. Suivi de la profondeur du fond dans les zones de vasières

Les mesures de profondeur du fond permettent de suivre les phases de dépôt et d'érosion avec une précision de quelques millimètres et ainsi contribuer à mieux comprendre la dynamique sédimentaire aux abords des mangroves. Un dispositif de suivi sur un an a été mis en place sur quatre secteurs de la baie (cf. Figure 15, Figure 13 et Figure 16) :

- ✓ Altus 1 : Au fond de la Cohé du Lamentin au niveau du quartier de Californie. Les fonds sont constitués d'une couche de vase très fluide de plusieurs mètres d'épaisseur ;
- ✓ Altus 2 : Au nord de l'embouchure de la Lézarde, au-delà de la zone de mouillage de Morne Cabri, dans le prolongement du Banc Grande Savane. Ce secteur est marqué par la présence d'herbiers ;
- ✓ Altus 3 : Entre les embouchures du canal de Ducos (dit canal Cocotte) et de la rivière la Manche. Les fonds sont de type vaseux mais légèrement plus indurés qu'au niveau de l'Altus 1 ;
- ✓ Altus 4 : Abords de la Rivière Salée. Les fonds sont constitués d'une couche de vase très fluide de plusieurs mètres d'épaisseur.

Au moment de la pose, de la relève et de l'entretien à mi-campagne (mois d'août), des prélèvements d'eau ont été effectués afin de caractériser en laboratoire la turbidité et les MES.

L'instrumentation déployée est composée d'un capteur NKE Altus qui permet d'observer des évolutions fines du fond marin sur le long terme, de l'ordre du millimètre. L'altimètre est un échosondeur fixé fermement au-dessus du fond marin dans une structure triangulaire en acier inoxydable formant un trépied. Le trépied est implanté grâce à 3 vis métalliques qui ont été enfoncées dans le sol sur 4 m.

Pour optimiser la mise en place de ces mesures, le BRGM a fait appel aux compétences de la société Impact-Mer qui connaît très bien les milieux de mangrove de la Baie de Fort-de-France. A. Sottolichio, chercheur à l'université de Bordeaux 1 et spécialiste de la dynamique sédimentaire en milieu côtier et dans les zones d'embouchure, a apporté également son expertise et son expérience du déploiement des Altus. Enfin, le laboratoire DYNECO de l'IFREMER a prêté 2 Altus durant 1 an pour cette campagne de mesure.

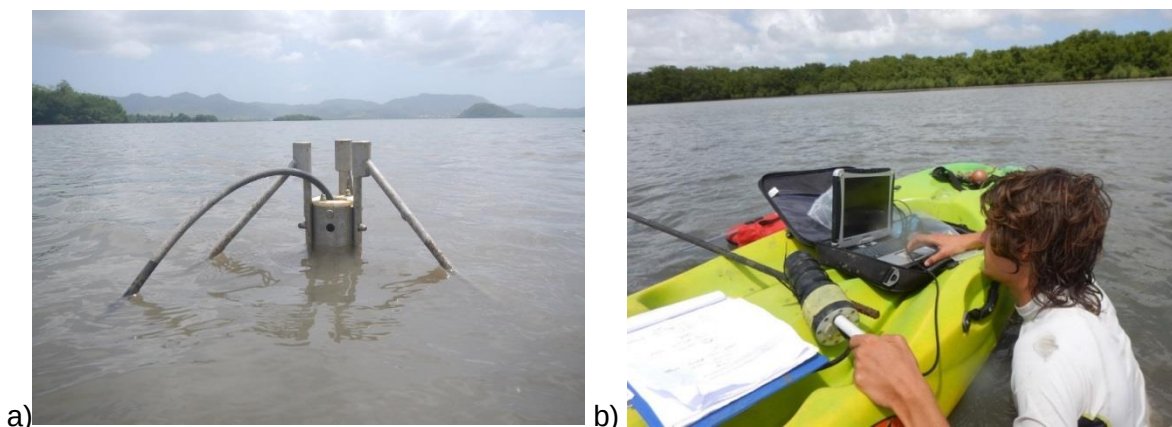


Figure 15. a) Altus 3 en place, lors de l'entretien du 28/04/2017 b) Récupération des données lors d'une sortie d'entretien.

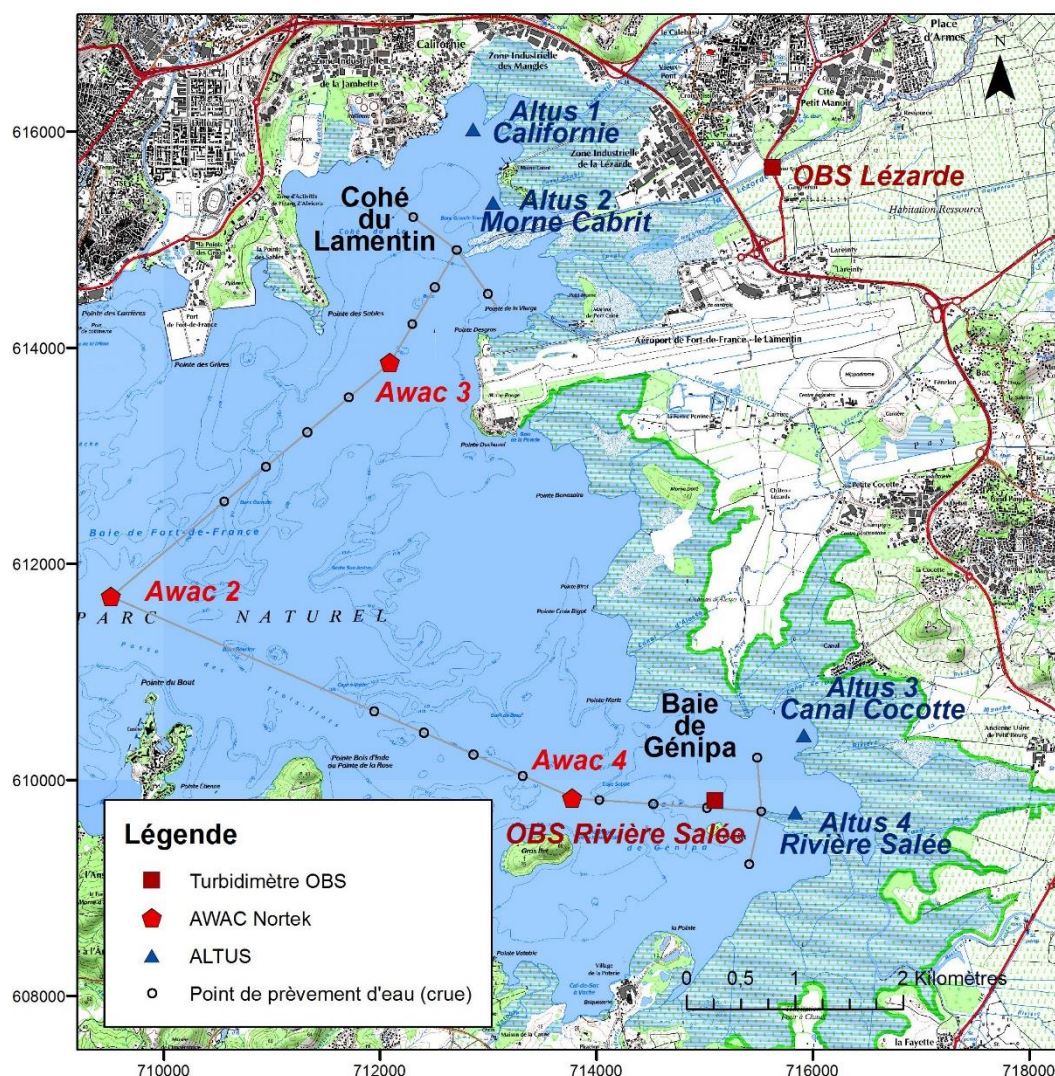


Figure 16. Position des capteurs de la campagne BRGM sur 1 an et rappel des positions de trois des cinq points de mesure NORTEKMED en milieu et fond de baie (AWAC 2, 3 et 4).

L'instrumentation et la programmation des appareils sont détaillées dans l'Annexe 3.

3.2. DEROULEMENT DES CAMPAGNES

3.2.1. Autorisations

L'occupation temporaire du domaine public maritime a été autorisée par le Préfet de Martinique le 11/01/2017 par l'arrêté R02-2017-01-11-001.

3.2.2. Validité des mesures

Turbidité aux embouchures

- ✓ Rivière Lézarde : Le système a très bien fonctionné mais un problème de paramétrage de l'appareil a occasionné une absence de données entre mi-mars et mi-mai ;
- ✓ Rivière Salée : Bon fonctionnement général mais des problématiques de salissure du turbidimètre (malgré le balai autonettoyant) ont dégradé la qualité des mesures sur des périodes ponctuelles (de quelques jours à quelques semaines) en juin, juillet, octobre et novembre.

Suivi des panaches turbides suite à Maria le 22/09/2017

- ✓ Prélèvements et mesures de température, salinité et turbidité : Très bon fonctionnement ;
- ✓ Drone : Les images sont de bonne qualité mais des problématiques de géo référencement des images ont été rencontrées dû à l'absence de points de repère à terre pour la majorité des images.

Remarque : Si la campagne a bien fonctionné, la date de déploiement est intervenue après la crue principale. La campagne a donc permis de mesurer les gradients de turbidité plutôt « classiques ».

Evolution des fonds dans les zones de vasières

- ✓ Altus 1 : Absence de données car le fond n'a pas été détecté par l'instrument à cause de la crème de vase trop épaisse sur ce site ;
- ✓ Altus 2 : Couverture correcte des données mais bruitage important à cause de la présence d'herbiers sur ce secteur ;
- ✓ Altus 3 : Très bonne couverture des données malgré un trou de 2 semaines en avril dû à une saturation de la mémoire de l'appareil ;
- ✓ Altus 4 : Absence de données car le fond n'a pas été détecté par l'instrument à cause de la crème de vase trop épaisse sur ce site.

L'Annexe 4 présente, par campagne et par point, des tableaux de synthèse des variables validées et disponibles.

4. Synthèse et analyse des résultats aux points de mesures

4.1. NATURE DES FONDS

D'après les analyses des sédiments, on discerne de très nettes différences entre les sédiments prélevés en entrée de baie et ceux prélevés en fond de baie (cf. Tableau 3 et Figure 17).

En effet, en entrée de baie (Point 1 et Point 5), les sédiments sont riches en carbonates issus des récifs coralliens voisins. Au niveau de la granulométrie de la fraction inférieure à 2 mm, les sédiments correspondent à des sables moyens (Point 1) et grossiers (Point 5) : les granulométries médianes sont respectivement de 322 μm et 538 μm . Ces deux points sont marqués par un pourcentage non négligeable de graviers carbonatés, issus des récifs coralliens (Point 1 : 10%, Point 5 : 7%). Le Point 1 diffère par la présence d'une fraction fine issue de sédiments de la baie.

En fond de baie (Point 3 et Point 4), les sédiments sont moins riches en carbonates et la proportion de matière organique, liée aux apports des rivières, des mangroves et de la production biologique locale, est plus élevée. La granulométrie réalisée sur ces sites montre qu'il s'agit de vase fine, dont la médiane est environ 10 μm . La fraction sableuse recueillie est très faible.

Au milieu de la baie, le Point 2 présente des caractéristiques de composition intermédiaire entre les sédiments d'entrée de baie et de fond de baie, avec des taux de carbonates et de matière organique relativement élevés. En revanche, sur les échantillons analysés, la granulométrie est proche de celle des vases de fond de baie.

Tableau 3. Synthèse des valeurs maximales relevées sur les 5 points de mesure lors des 4 opérations de prélèvement de sédiments (pose et relève en carême et hivernage). NB : MS = Matière Sèche.

	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5
Fraction < 2 mm	90 %	100 %	100 %	100 %	83 %
Carbonates	74.7 gC/kg MS	42 gC/kg MS	10.8 gC/kg MS	8.8 gC/kg MS	126 gC/kg MS
Matières Minérales	91.6 % MS	82.8 % MS	86.3 % MS	87 % MS	95.9 % MS
Matières Organiques	8.7 % MS	18.9 % MS	26.4 % MS	28 % MS	6.2 % MS
Matières sèches	45.0 %	27.8 %	26.1 %	21.6 %	65.6 %
Statistiques granulométrie					
<i>Moyenne</i>	413.4 μm	26.41 μm	21.33 μm	18.46 μm	625.9 μm
<i>Médiane</i>	322.9 μm	14.35 μm	10.72 μm	10.50 μm	538.2 μm
<i>S.D.</i>	406.9 μm	32.16 μm	30.03 μm	24.41 μm	460.3 μm
<i>Mode</i>	684.2 μm	13.61 μm	11.29 μm	11.29 μm	684.2 μm
<i>d₁₀</i>	7.105 μm	2.831 μm	1.703 μm	1.756 μm	104.5 μm
<i>d₅₀</i>	322.9 μm	14.35 μm	10.72 μm	10.50 μm	538.2 μm
<i>d₉₀</i>	994.2 μm	65.42 μm	54.58 μm	42.79 μm	1312 μm
Granulométrie					
< 2 μm	2.67 %	10,5%	11.1 %	10.7 %	0.69 %
< 20 μm	22.4 %	61.6 %	71.7 %	74.4 %	3.92 %
< 63 μm	31.3 %	89.5 %	91.6 %	94.4 %	6.97 %
< 100 μm	33.5 %	94.5 %	96.3 %	97.4 %	9.66 %
< 200 μm	39.3 %	99.98 %	99.9 %	99.999 %	19.1 %
< 500 μm	64.0 %	100 %	100 %	100 %	46.7 %
< 1000 μm	90.2 %	100 %	100 %	100 %	80.1 %
< 2000 μm	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

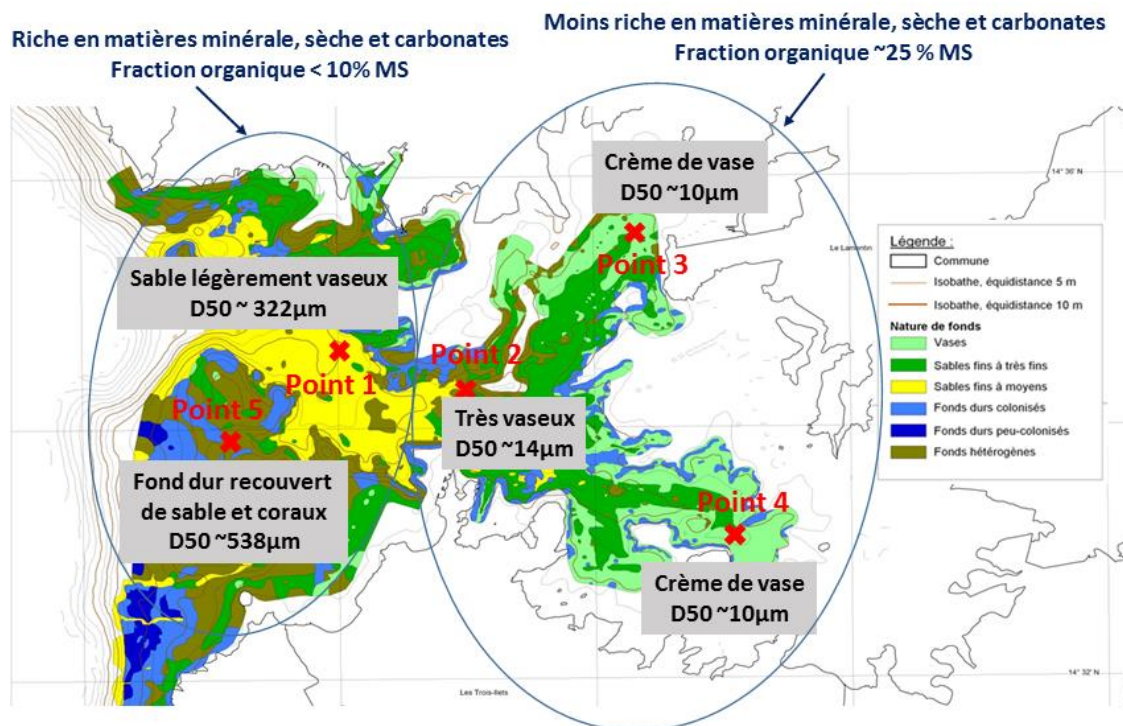


Figure 17. Nature des fonds visualisés par les plongeurs et analyses sédimentaires des campagnes NORTEKMED superposées à la carte morphosédimentaire de Guennoc et Duclos (2008). NB : MS = Matière Sèche / D50 = valeur médiane.

4.2. FONCTIONNEMENT HYDRODYNAMIQUE ET THERMOHALIN

4.2.1. Niveau d'eau et marée

En Martinique, la marée est de type mixte à inégalité diurne. Le niveau moyen de la mer par rapport au zéro hydrographique montre une variabilité saisonnière. Les données SONEL (cf. Figure 18) indiquent un niveau moyen de 0.6 m en mars 2017 (pendant la campagne de carême) et de 0.717 m en octobre 2017 (pendant la campagne d'hivernage).

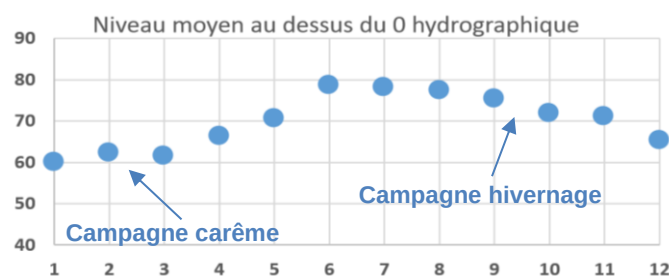


Figure 18. Niveau moyen (cm) au dessus du zéro hydrographique au niveau du marégraphe de Fort-de-France sur les mois de l'année 2017. Données source : SONEL.

Les marnages observés au point 1 vont de 10 cm à 35 cm durant les deux périodes de mesure (cf. Figure 19 sur la campagne de carême). Dans la baie de Fort-De-France, les fluctuations du niveau d'eau sont simultanées (à 10 minutes près) et similaires en amplitude (à quelques centimètres près) pour les Points 2, 3, 4 et 5 (cf. Figure 20). En fond de baie (Points 3 et 4), le niveau d'eau est également marqué par des oscillations régulières autour

de quelques centimètres (1 à 5 cm). Ces fluctuations sont périodiques et apparaissent environ toutes les heures ou les heures et demi pendant les campagnes de carême et d'hivernage. Elles pourraient s'expliquer par un phénomène de seiche⁵ lié à la géométrie de la baie de Génipa. Cette hypothèse pourra être vérifiée pendant la phase de modélisation du projet et à l'aide des données du capteur de pression positionné sur ce point.

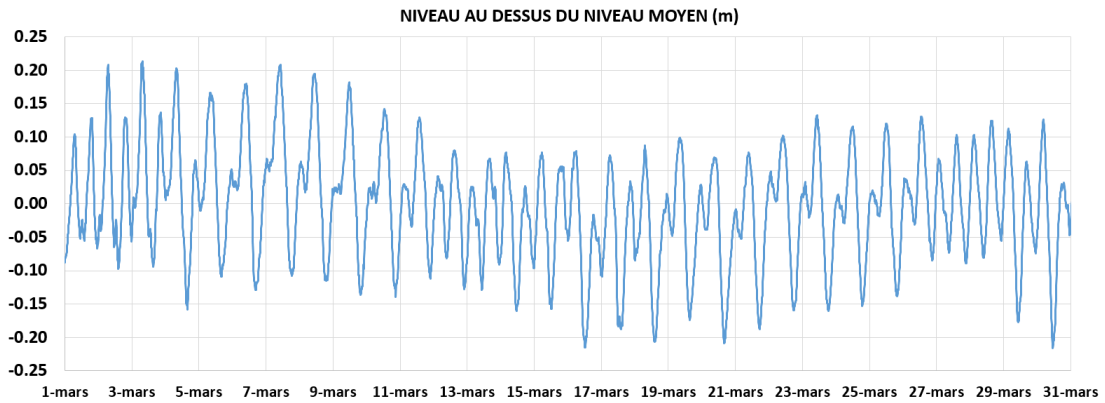


Figure 19. Niveau de l'eau au dessus du niveau moyen au Point 1 pendant la campagne de carême.

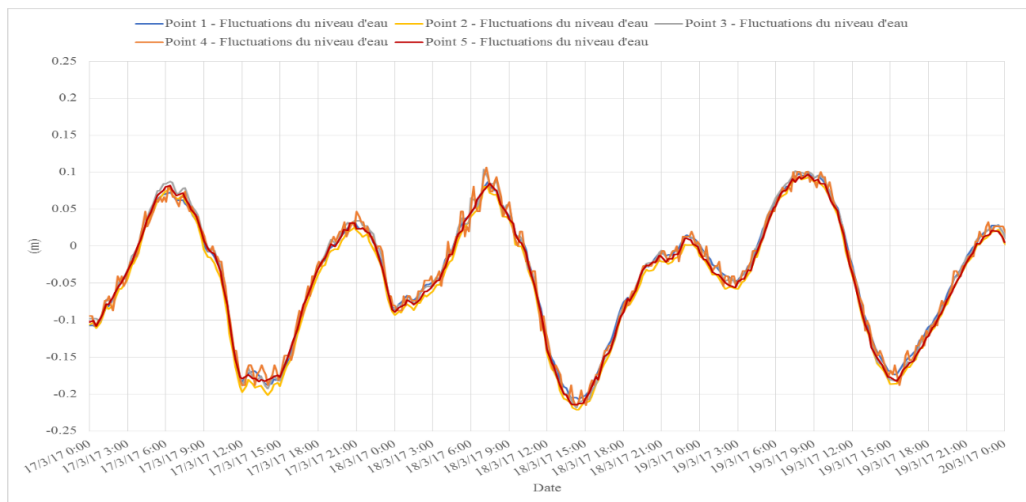


Figure 20. Zoom sur les fluctuations du niveau de l'eau au dessus du niveau moyen sur les 5 points de mesure pendant la campagne de carême. Extrait du rapport Vincent (2017a).

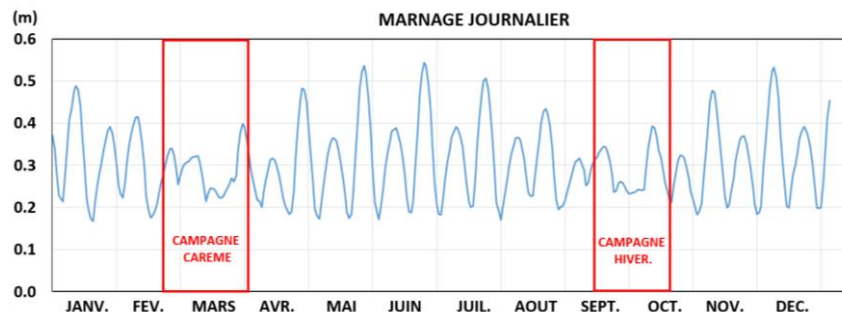


Figure 21. Différence journalière entre le niveau de la marée prédite le plus haut et le plus bas. Série calculée à partir des données FES2014, point situé au large (14.567°N;-61,188°E).

⁵ Oscillation de l'eau dans un bassin dont la période peut varier de quelques minutes à plusieurs heures.

Pour ce type de marée (faible marnage, forte inégalité semi-diurne, variabilité du niveau moyen), le coefficient de marée est difficilement calculable et donc non fourni par le SHOM. Cependant, la différence journalière entre le niveau d'eau maximum et minimum calculés avec FES2014 (source : LEGOS) sur un point situé au large de la baie (cf. Figure 21) donne une indication sur la variabilité du marnage de marée prédite pendant les périodes de mesure. Sur les deux périodes de mesure, le marnage de marée prédite apparaît relativement peu variable : compris entre 0.21 m et 0.4 m pour carême, et 0.24 m et 0.4 m pour hivernage.

4.2.2. Courants

Remarque préalable : la taille des cellules de mesure et les variations du niveau d'eau induisent une zone blanche en surface dans laquelle les courants ne peuvent être mesurés et dont la taille varie selon la profondeur du point de mesure (entre 2 m et 5 m). En outre, il existe aussi une zone blanche entre la tête du capteur et la première cellule d'acquisition. Ainsi les courants décrits ici sont en fait les courants de 2 m au-dessus du fond jusqu'à la sub-surface.

Fonctionnement général (cf. Figure 22, Figure 23, Figure 24)

A l'entrée de la baie (Point 1 et 5), les courants ne sont pas homogènes sur la colonne d'eau entre la surface et le fond. De manière générale, les valeurs mesurées (moyennes et maximas) sont plus élevées en période d'hivernage qu'en période de carême (en particulier les courants sortant au fond du canyon au Point 1) mais les directions sont similaires sur les deux périodes.

- ✓ Sur le rebord du canyon (Point 1), l'eau tend à sortir de la baie au fond alors que dans la partie supérieure et au milieu de la colonne d'eau, l'eau est plutôt entrante. Ce secteur est marqué par des courants plus forts au fond atteignant des vitesses maximales de 36 cm/s en carême et 64 cm/s en hivernage en direction principalement de l'WNW (courants sortants) au moment de la marée descendante (courant de jusant). A partir du milieu de la colonne d'eau, les courants sont plus faibles, atteignant des vitesses maximales de 28 cm/s en carême et 48 cm/s en hivernage en direction principalement de l'ESE (courants rentrants) que la marée soit montante (courant de flot) ou descendante ;
- ✓ Sur les hauts fonds du Gros Ilet, (Point 5), le courant est plutôt sortant (vers le SW à NE) mais avec une composante rentrante dans les couches de fond (vers le NNE à SSE) qui est d'autant plus visible en période d'hivernage. Les maximas sont observés dans la partie supérieure de la colonne d'eau, sur les courants sortant en direction du SW, avec des valeurs atteignant jusqu'à 30 cm/s pendant la campagne de carême et 43 cm/s pendant celle d'hivernage.

Globalement, les courants mesurés à l'intérieur de la baie de Fort-de-France (Point 2, 3 et 4) sont plus faibles qu'à l'entrée et ont des intensités relativement homogènes sur la colonne d'eau. Les valeurs mesurées sont assez similaires entre les périodes de carême et d'hivernage avec cependant des maximas un peu plus élevés en hivernage (dû au passage du cyclone Maria) mais les directions de propagation varient entre les périodes de carême et hivernage.

- ✓ Au milieu de la baie, dans des fonds de 30 m (Point 2), la direction des courants est très éparse. On remarque cependant que le courant est plutôt entrant au fond pendant la période de carême et dans les couches supérieures de la colonne d'eau pendant la période d'hivernage. Les maximas sont de l'ordre de 25 cm/s en carême et 35 cm/s en hivernage ;
- ✓ En fond de baie côté Lamentin (Point 3) la direction des courants est bien établie vers les secteurs NNE à NE en direction de la rivière La Lézarde. On note également la présence d'un courant revenant vers le SW à marée descendante dans la partie supérieure de la colonne d'eau pendant la période de carême et plutôt au fond pendant la période d'hivernage. Les maximas sont de l'ordre de 15 cm/s en carême et 20 cm/s en hivernage ;
- ✓ En fond de baie côté Rivière Salée (Point 4), la direction des courants en période d'hivernage est bien établie vers les secteurs SE à SSE c'est-à-dire en direction du fond de baie. On note

également la présence d'un courant revenant vers le NW à marée descendante au fond. Même si les données ne sont pas disponibles, on peut supposer que ce courant de retour vers le NW apparaîtrait plus dans la partie supérieure de la colonne d'eau en période de carême par analogie avec le point 3. Les maximas relevés sont similaires au Point 3 avec des pics d'environ 20 cm/s.

Zoom sur le canyon d'entrée (cf. Figure 25, Figure 26, Figure 27)

Le canyon est donc le secteur où l'on mesure les plus forts courants. Sur ce point, les variations d'intensité et de direction apparaissent clairement corrélées aux cycles de la marée. La Figure 25 et la Figure 26 présentent les profils de vitesse et de direction sur la verticale respectivement pendant les périodes de mesure en carême et hivernage.

En période d'hivernage (Figure 25), on repère très distinctement (et de manière égale sur toute la période de mesure) les phases de marée descendante et montante. Si dans les couches de surface, le courant est toujours majoritairement entrant, le courant de fond alterne entre les périodes de marée montante et descendante :

- ✓ A marée descendante (encadré orange, Figure 27), le courant au fond augmente et est dirigé vers la sortie de la baie (en direction WNW) ;
- ✓ A marée montante (encadré vert, Figure 27), le courant au fond est plus faible et est dirigé vers l'intérieur de la baie (en direction ESE).

Pendant la campagne de carême (Figure 26), cette modulation liée aux cycles de la marée n'est pas aussi marquée et n'apparaît pas de manière continue pendant la phase de mesures. On observe notamment deux périodes pendant lesquelles le fonctionnement dans le canyon est différent :

- ✓ Du 02 au 11 mars, les courants sont exclusivement entrants et d'intensité relativement homogène sur la colonne d'eau ;
- ✓ Du 21 au 29 mars, les courants sont exclusivement entrant dans la partie supérieure de la colonne d'eau et sortant avec une intensité supérieure au fond.

Les périodes de mesure étant limitées à environ 5 semaines par campagne, il est difficile d'affirmer quel est le fonctionnement le plus « classique ». La phase de modélisation permettra d'éclairer ces différences.

Carême Hiver	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5
Surface (cm/s)	Vmoy = 7.5 Vmax = 23 Vmoy = 9.2 Vmax = 41.05	Vmoy = 8 Vmax = 22 Vmoy = 9.14 Vmax = 32.30	Vmoy = 4.8 Vmax = 17 Vmoy = 5.18 Vmax = 21.56	Vmoy = / Vmax = / Vmoy = 4.90 Vmax = 15.83	Vmoy = 9 Vmax = 30 Vmoy = 12.93 Vmax = 43.49
Milieu (cm/s)	Vmoy = 10.2 Vmax = 28 Vmoy = 12.17 Vmax = 48.39	Vmoy = 8.3 Vmax = 25 Vmoy = 9.77 Vmax = 29.14	Vmoy = 5.3 Vmax = 15 Vmoy = 4.74 Vmax = 20.21	Vmoy = / Vmax = / Vmoy = 5.20 Vmax = 18.80	Vmoy = 8.3 Vmax = 24 Vmoy = 11.78 Vmax = 44.59
Fond (cm/s)	Vmoy = 11.9 Vmax = 36 Vmoy = 26.44 Vmax = 63.90	Vmoy = 7.6 Vmax = 23 Vmoy = 8.88 Vmax = 34.3	Vmoy = 5.2 Vmax = 18 Vmoy = 4.39 Vmax = 19.77	Vmoy = / Vmax = / Vmoy = 5.51 Vmax = 19.49	Vmoy = 7 Vmax = 19 Vmoy = 10.13 Vmax = 33.84

Figure 22. Tableau récapitulatif des moyennes et maximas de vitesse de courant relevés sur les 5 points de mesure pendant les 2 campagnes. Extrait du rapport Vincent (2017b).

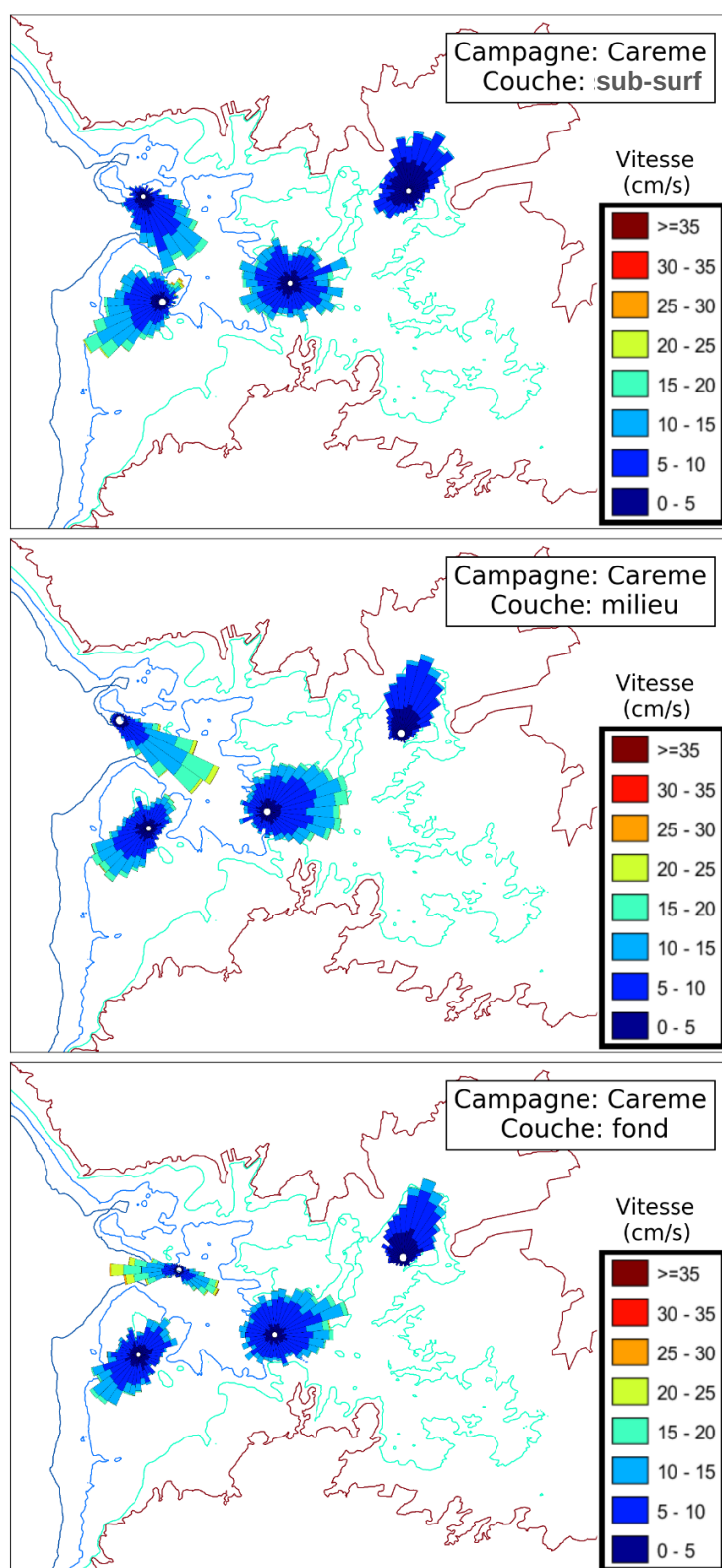


Figure 23. Roses des courants relevés pendant la campagne de carême. Les roses représentent la répartition en terme de direction de propagation (orientation) et d'intensité (couleurs).

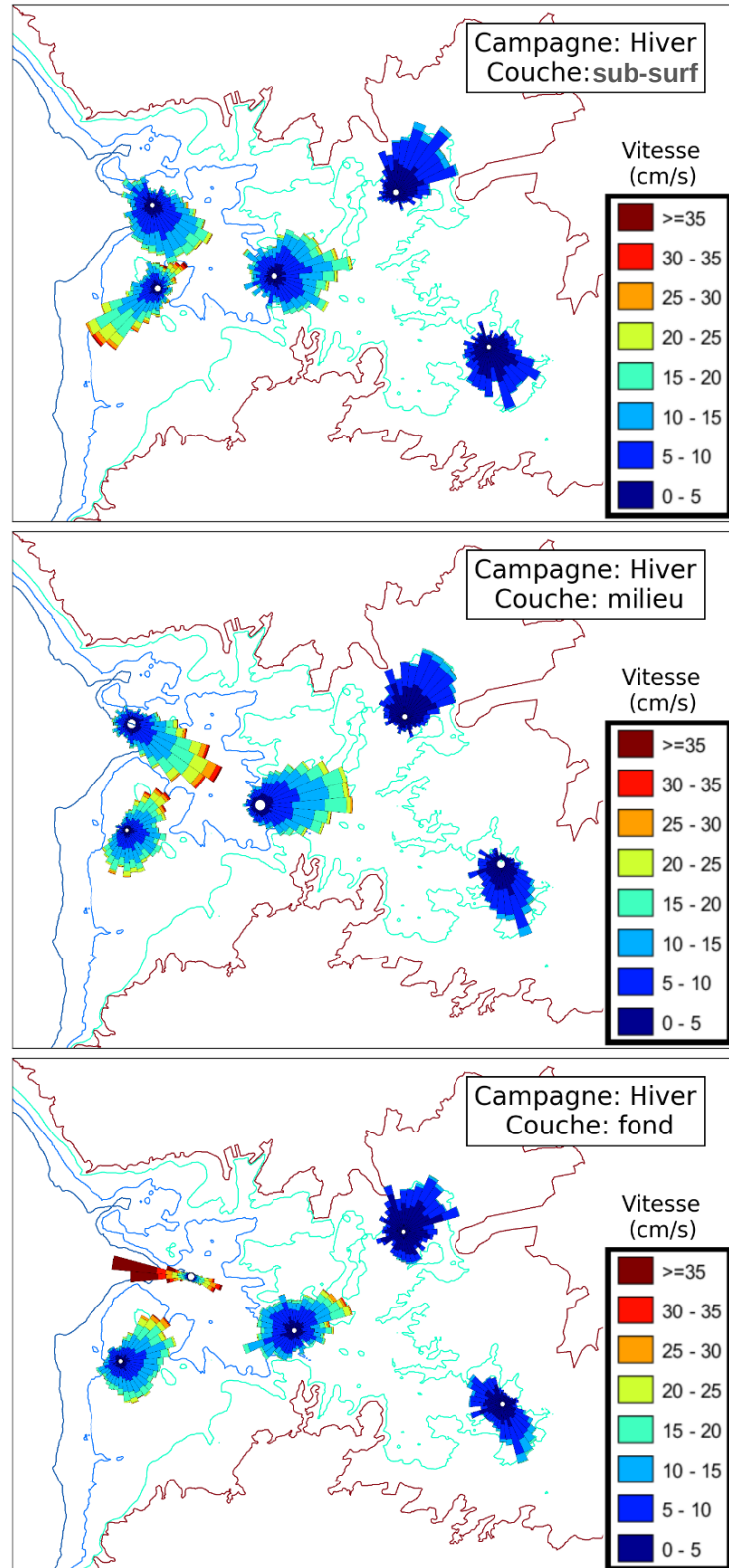


Figure 24. Roses de courant relevés pendant la campagne d'hivernage. Les roses représentent la répartition en terme de direction de propagation (orientation) et d'intensité (couleurs).

Figure 9 : Point 1 - Profil 3D de la vitesse horizontale du courant sur la colonne d'eau

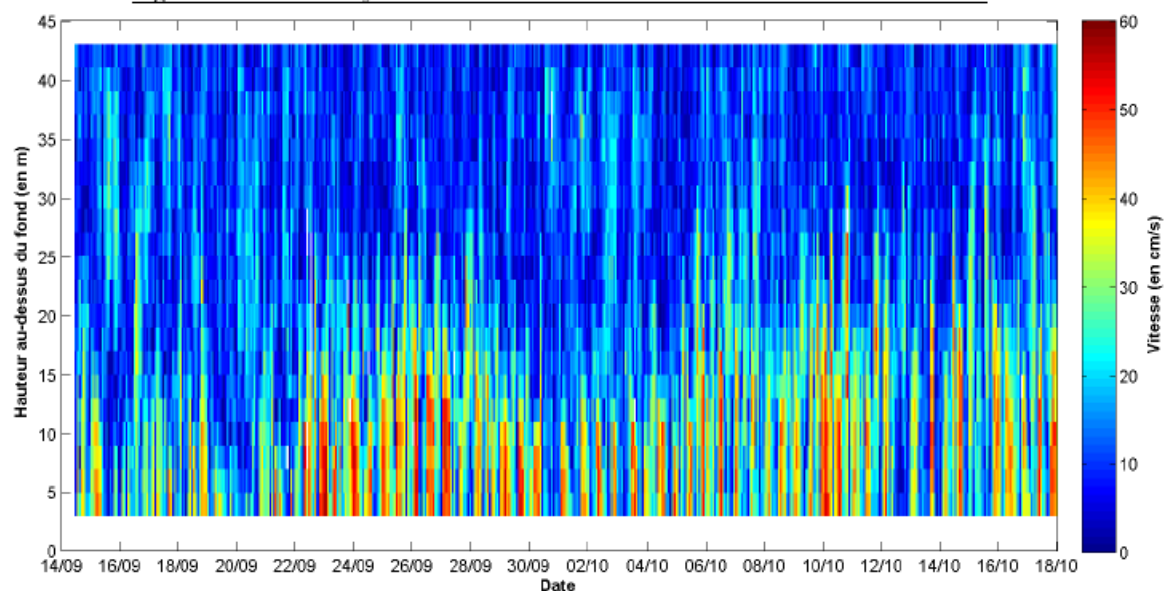


Figure 10 : Point 1 – Profil 3D de la direction du courant sur la colonne d'eau

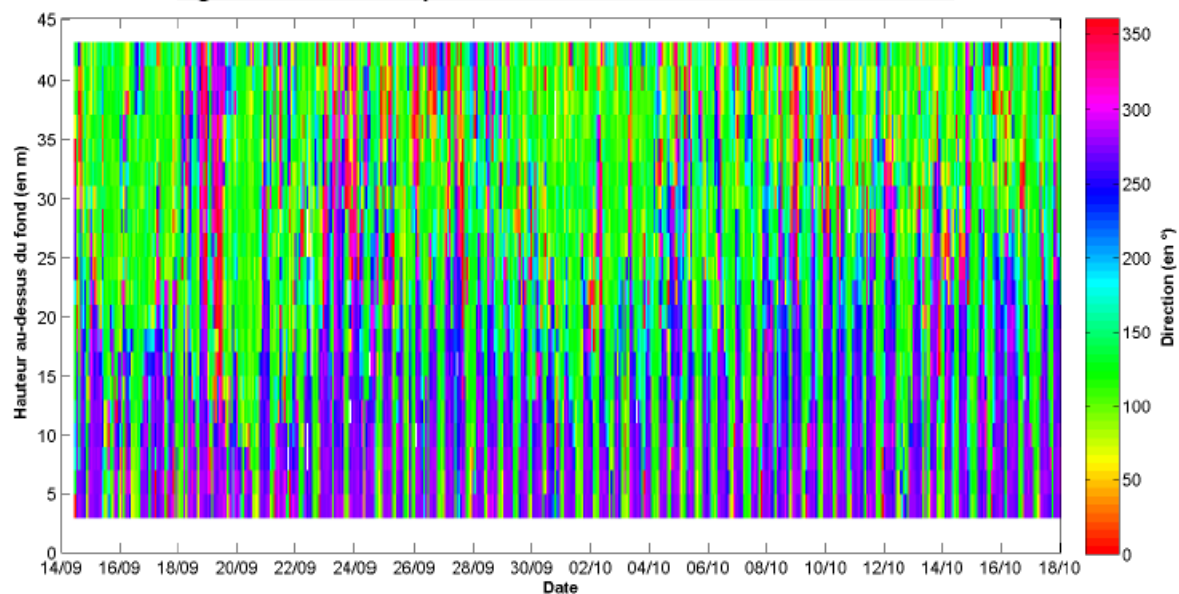


Figure 25. Profil 3D de la vitesse et de la direction des courants au point 1 pendant la campagne de d'hivernage. Extrait du rapport Vincent (2017b).

Figure 9 : Point 1 - Profil 3D de la vitesse horizontale du courant sur la colonne d'eau

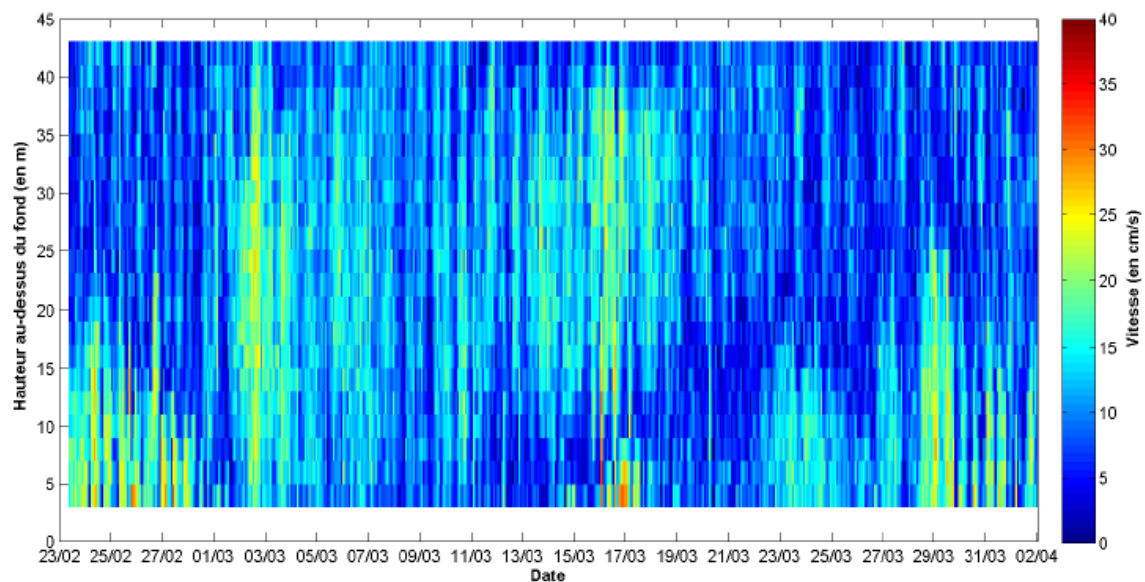


Figure 10 : Point 1 – Profil 3D de la direction du courant sur la colonne d'eau

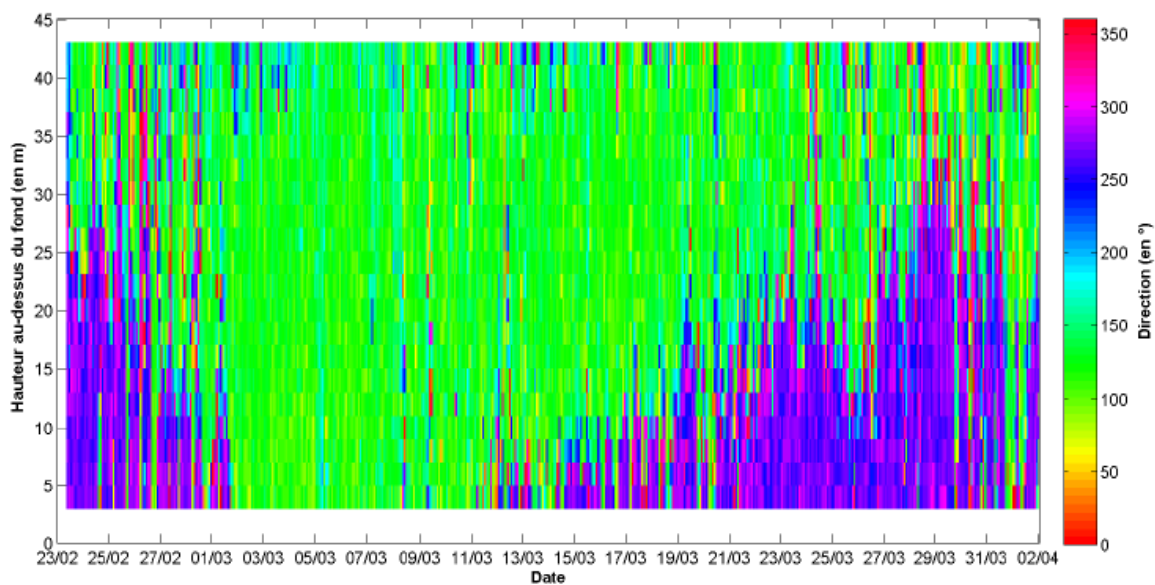


Figure 26. Profil 3D de la vitesse et de la direction des courants au point 1 pendant la campagne de carême. Extrait du rapport Vincent (2017a).

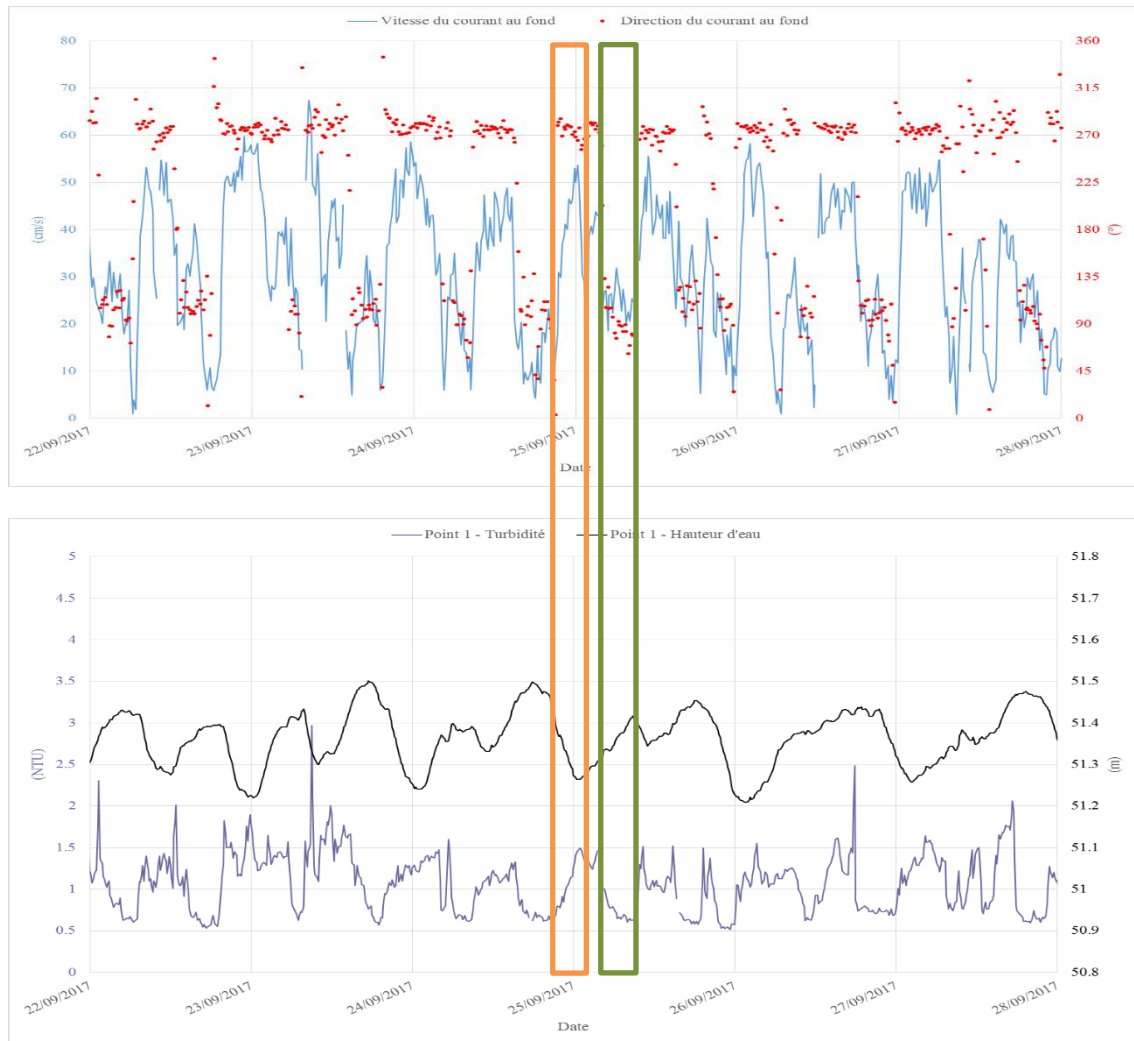


Figure 27. Zoom sur la période de mesure du 22 au 28 septembre 2018. A : Intensité et direction du courant au fond au Point 1. B : Hauteur d'eau et turbidité au fond au Point 1. Extrait du rapport Vincent (2017b).

Synthèse et pistes d'analyse pour la phase de modélisation

En résumé, entre les périodes de carême et d'hivernage, on observe des différences sur les courants :

- En termes d'intensité et de modulation des directions en lien avec les périodes de marée montante et descendante à l'entrée de la baie et particulièrement dans le canyon ;
- En terme de directions entre les couches de surface et de fond au milieu et en fond de baie.

Ces modes de fonctionnement différents ne semblent pas liés aux variations de marnage qui sont faibles et ne présentent pas de différence significative entre les périodes de carême et d'hivernage. Plusieurs hypothèses sont envisageables et pourront faire l'objet d'une analyse approfondie pendant la phase de modélisation. On regardera en particulier :

- L'influence du vent local : en effet, la période du 02 au 11 mars est caractérisée par des vents d'ENE d'intensité plus forte que sur le reste de la campagne et que lors de la campagne d'hivernage (hors cyclone Maria). Ce vent pourrait être à l'origine d'un mélange plus important des masses d'eau sur la verticale ;
- Les apports d'eau extérieurs à la baie dus à la circulation océanique régionale ou locale ;
- D'éventuelles marées internes : les marées internes sont générées le plus souvent par la combinaison de fortes pentes bathymétriques, d'une stratification thermo haline marquée et d'une fréquence de flottabilité suffisamment importante (Lynne et al., 2011).

4.2.3. Agitation et vagues

Remarques préalables :

- *On rappelle que les périodes de coupure des houles directionnelles sur la zone d'étude sont comprises entre 3 et 4 secondes selon l'immersion du site. Ainsi, compte tenu des périodes très courtes dominantes sur la zone d'étude, il est possible que les houles provenant d'E générées par le vent, ne soient pas toutes mesurées ;*
- *Ici, on analyse les paramètres pics des vagues (période et direction pics), c'est-à-dire les caractéristiques des vagues les plus énergétiques du spectre. Très pratique en première approche, le découpage des états de mer naturels en états de mer simples ne permet cependant pas de représenter l'ensemble des observations. En effet, de nombreux états de mer correspondent à des superpositions de mer du vent et de houle, généralement de directions différentes.*

Fonctionnement général (cf. Figure 28, Figure 29, Figure 30, Figure 31)

Globalement, la zone d'étude connaît des vagues très faibles durant les périodes de mesure (hormis pendant le passage de Maria) : la mer est belle ($Hm0^6 < 0.5$ m) durant 80 à 99 % du temps de mesure selon le site considéré. Globalement, la hauteur des vagues moyenne est assez proche entre les campagnes de Carême et Hivernage. Les maxima de hauteur sont en revanche tous plus élevés lors de la phase hivernale du fait du passage du cyclone Maria (cf. Figure 28).

En période calme, les 5 points de mesure connaissent des fluctuations d'état de mer très semblables et synchrones. En revanche, les hauteurs et la provenance des vagues mesurées sont variables entre ces 5 sites de mesure du fait de la bathymétrie, de la configuration de la zone

⁶ Hauteur significative des vagues : moyenne du tiers supérieur des hauteurs de vagues.

de mesure et du découpage des côtes. De manière générale, avec l'analyse des paramètres pics, on observe des vagues de deux natures différentes :

- ✓ Des vagues courtes ($Tp^7 < 4$ s) générées par le vent local et avec une présence beaucoup plus marquée le jour. Pendant la campagne de carême, ces vagues sont visibles uniquement à l'entrée de la baie avec une provenance de NNE-NE et des hauteurs pouvant atteindre 50-60 cm. Pendant la campagne d'hivernage, ce type de vagues ressort plutôt au fond de la baie avec une provenance NNE (Cohé du Lamentin) et ENE (Baie de Génipa) et des hauteurs très faibles (< 20 cm). Sur les deux périodes de campagne, on observe également ces vagues en milieu de baie avec une direction de provenance WNW en carême et NNW en hivernage et des hauteurs significatives < 40 cm. Leur présence plus marquée le jour est due au système de brise de terre qui vient renforcer les vents d'est et générer des vagues plus importantes. La variabilité des directions de provenance en fonction des points et des périodes de mesure souligne une certaine hétérogénéité des vents de terre dans la baie dont la circulation complexe peut-être liée à la morphologie et aux reliefs variables autour de la baie ;
- ✓ Des houles plus longues (périodes pouvant dépasser 10 s), caractéristiques d'une provenance plus lointaine, et avec une présence beaucoup plus visible la nuit. Ces houles entrent dans la baie avec une provenance WNW et se propagent par réfraction bathymétrique vers la Cohé du Lamentin. La direction de provenance de ces houles laisse supposer qu'il s'agit de houles d'Est qui, en contournant la Martinique par le Nord et le Sud et par réfraction bathymétrique, atteignent l'entrée de la baie avec des hauteurs très faibles (< 50 cm) mais en conservant leurs périodes très longues. Leur présence moins visible le jour peut être due au système de brise de terre qui vient renforcer les vents et les vagues locales dont l'énergie devient prépondérante.

Synthèse et pistes d'analyse pour la phase de modélisation

On observe donc un fonctionnement bimodal avec la présence simultanée de houles longues et de clapot local dont l'énergie et la proportion varient selon l'endroit de la baie et en fonction de l'alternance jour (brise de terre) / nuit (brise de mer). A noter cependant que les houles longues n'atteignent vraisemblablement pas la baie de Génipa car elles sont soit très dissipées dans cette endroit de la baie soit majoritairement réfractées vers la Cohé du Lamentin.

Globalement, sur l'ensemble de la zone d'étude, la hauteur significative des vagues mesurées est légèrement plus importante le jour que la nuit. Cette variation illustre l'alternance entre les phase nocturnes (entrée de houles longues dans la baie et peu de vagues locales) et les phases diurnes (entrée de houles longues dans la baie et présence simultanée de vagues locales).

L'analyse des paramètres pics des vagues offre ici une vision partielle. La visualisation des spectres complets et leur comparaison avec les modélisations permettra de confirmer cette interprétation et de pousser l'analyse plus avant.

⁷ Période pic : période correspondant à la partie la plus énergétique du spectre des vagues

Carême Hiver	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5
Hm0 (m)	moy = 0.45 max = 1.29 moy = 0.48 max = 2.34	moy = 0.27 max = 0.55 moy = 0.26 max = 1.87	moy = 0.06 max = 0.23 moy = 0.20 max = 0.96	moy = / max = / moy = 0.084 max = 0.76	moy = 0.32 max = 0.69 moy = 0.36 max = 2.74
DirTp	Dir 1 : NNE-NE Dir 2 : SW à WNW Dir 1 : W-WNW Dir 2 : ESE	Dir 1 : W-WNW Dir 2 : SW à NW Dir 1 : WSW Dir 2 : WNW	Dir 1 : SW Dir 2 : S à W Dir 1 : N-NNE Dir 2 : SW	Dir 1 : / Dir 2 : / Dir 1 : ENE-E Dir 2 : WSW-W	Dir 1 : WNW Dir 2 : ENE Dir 1 : WNW Dir 2 : ENE
Tp (s)	moy = 4.31 max = 12.67 moy = 5.13 max = 19.92	moy = 4.21 max = 17.22 moy = 5.30 max = 13.99	moy = 8.66 max = 18.64 moy = 4.43 max = 14	moy = / max = / moy = 3.22 max = 12.10	moy = 6.24 max = 19.56 moy = 6.53 s max = 13.90 s

Figure 28. Tableau récapitulatif des moyennes et maximas de paramètres de houle relevés sur les 5 points de mesure NORTEKMED pendant les campagnes de carême et hivernage. Les deux directions indiquées correspondent aux directions principales et secondaires en terme d'énergie. Extrait du rapport Vincent (2017b).

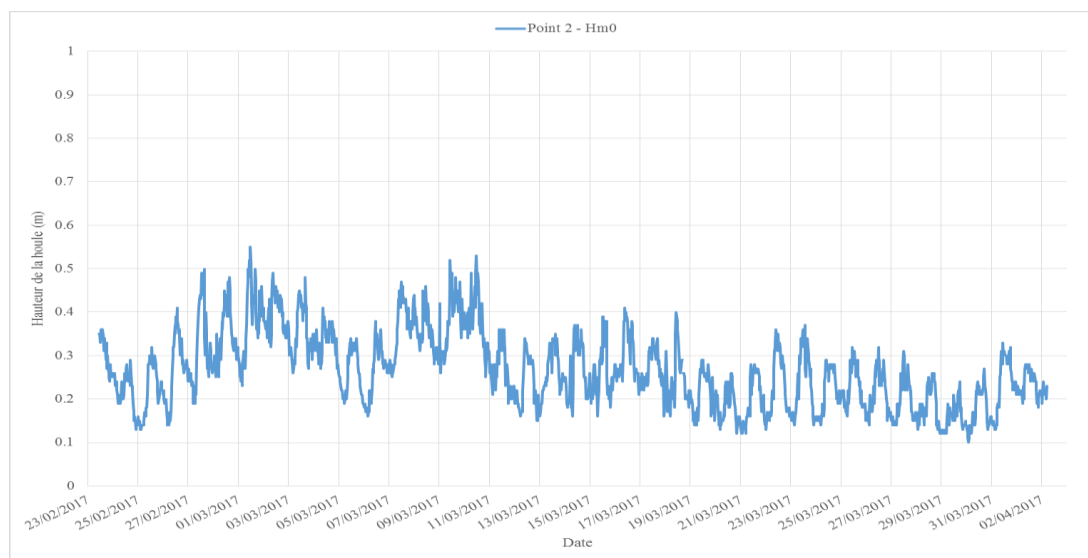


Figure 29. Hauteur significative des vagues mesurées au milieu de la baie (Point 2) pendant la période de carême. Extrait du rapport Vincent (2017a).

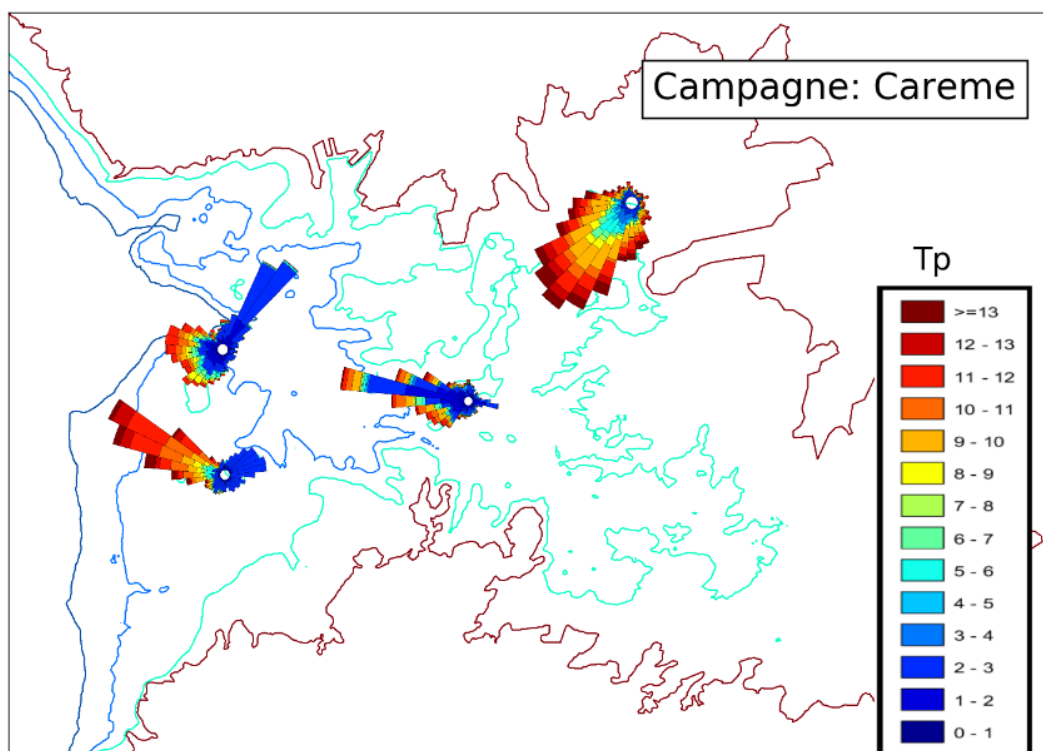
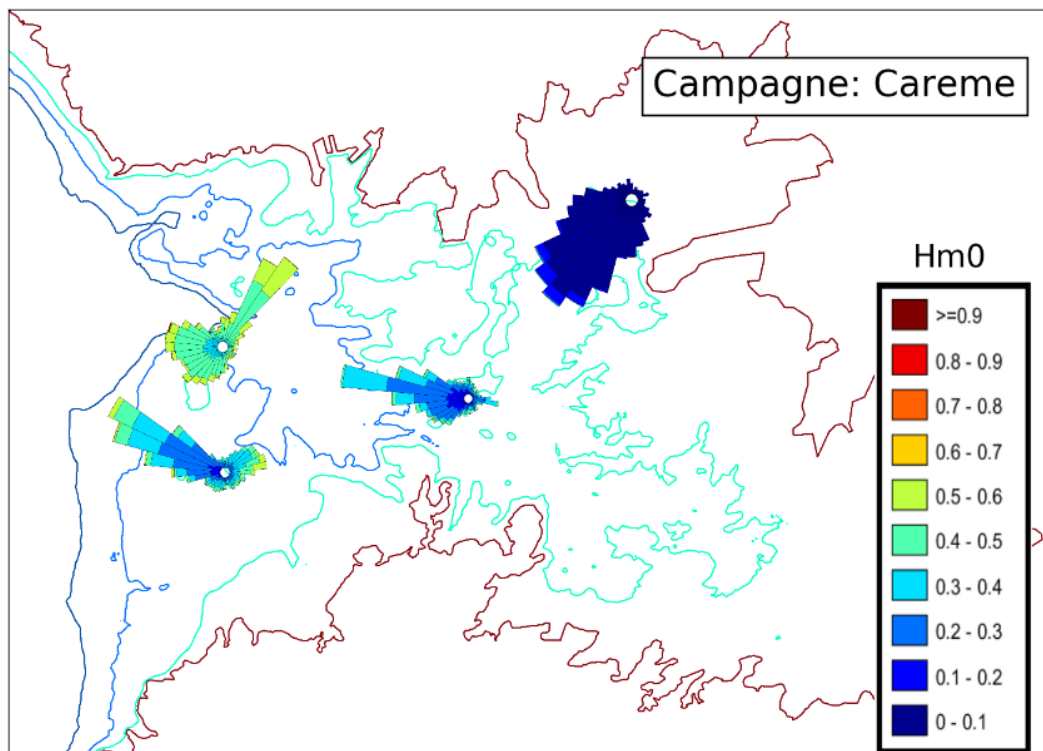


Figure 30. Roses des houles (direction de provenance) relevées pendant la campagne de carême. Les roses représentent la répartition en terme de direction de provenance (orientation) et de hauteur significative (couleurs).

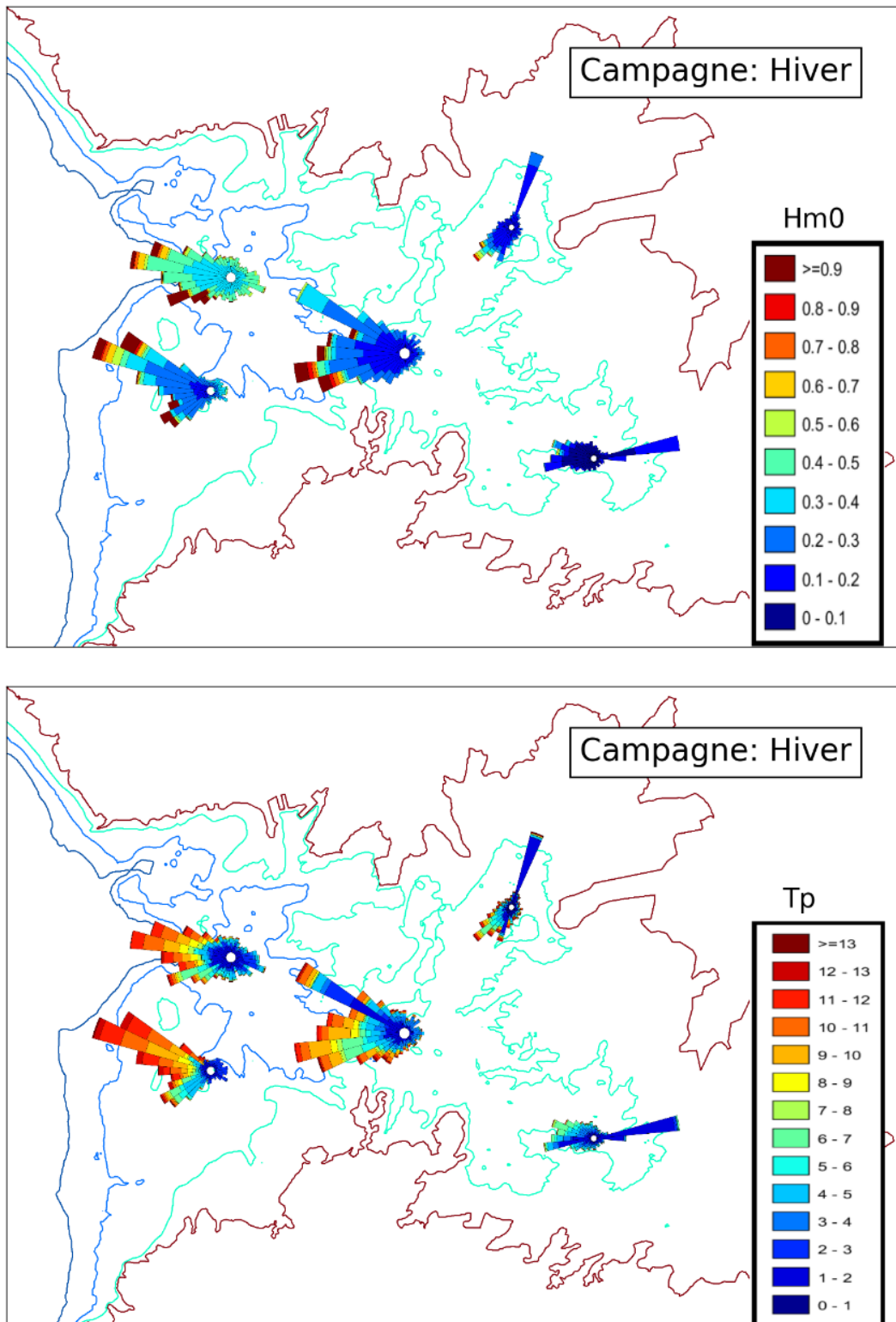


Figure 31. Roses des houles (direction de provenance) relevées pendant la campagne d'hivernage. Les roses représentent la répartition en terme de direction de provenance (orientation) et de hauteur significative (couleurs).

4.2.4. Température et salinité au fond

Fonctionnement général (cf. Figure 32, Figure 33, Figure 34, Figure 35)

Sur la zone d'étude, l'eau de mer est tempérée à chaude durant la période de mesure (variations entre 24.5 °C et 29.6 °C) et est relativement salée (variations de 33.8 à 37 PSU). Globalement, à l'entrée de la baie (Point 1), les moyennes de température et salinité au fond sont similaires entre carême et hivernage, alors que l'eau est légèrement plus chaude et moins salée en période hivernale qu'en période carême à l'intérieure de la baie (Points 2,3,4).

De manière générale sur la période d'étude, l'eau prélevée dans le canyon de l'entrée de baie (Point 1) est plus froide et plus salée que sur les autres sites d'étude. On note également une variabilité journalière de ses caractéristiques plus importante (fluctuations de 1 à 3 °C et de 0.5 à 1 PSU) avec des chutes de température simultanées à une augmentation de la salinité. Ces variations sont observées de manière discontinue sur la période de carême, et de manière continue sur la période hivernale. Les chutes de température, simultanées aux augmentations de la salinité, sont synchrones avec les courants de marée entrant mesurés sur le site. Il s'agit donc d'entrées d'eau froide et salée provenant du large avec la marée montante et de sorties d'eau chaude et moins salée de la baie vers le large avec la marée descendante. Les périodes pendant lesquelles le phénomène de variations quotidiennes n'est pas observé en période de carême correspondent aux phases pendant lesquelles le courant est uniquement rentrant dans le canyon (du 3 au 11 mars) ou quasi uniquement sortant au fond du canyon (du 21 au 27 mars) comme expliqué au paragraphe 4.2.2.

La variabilité observée des paramètres thermo-halins dans le canyon est également présente en milieu de baie (Point 2), mais de manière moins prononcée et en période hivernale uniquement. Cette différence entre carême et hivernage est certainement due au fait que les courants de marée observés au point 1 sont plus intenses en période d'hivernage.

Le Point 5 (entrée de baie sur le banc du Gros Ilet) présente également des fluctuations journalières notables de température liées aux entrées et sorties d'eau dans la baie (de l'ordre de 0.2 à 0.4 °C) mais moindres que le canyon et le milieu de la baie qui sont les premiers secteurs de circulation des eaux froides venant du large.

Sur les Points 3 et 4 en fond de baie (côté Lamentin et côté Génipa), les fluctuations de température et salinité sont moindres et les paramètres sont relativement stables sur la période.

Synthèse et pistes d'analyse pour la phase de modélisation

Les variations de température et salinité au fond semblent contrôlées par la marée dans le canyon à l'entrée de la baie et jusqu'en milieu de baie quand les courants sont suffisamment importants. Le fond de la baie (Cohé du Lamentin et Baie de Génipa) semble moins soumis aux variations quotidiennes dues aux courants mais est plus sensible aux variations saisonnières de température.

La disponibilité des mesures de température et salinité uniquement au fond apporte une vision intéressante mais partielle. La modélisation 3D des paramètres de température et salinité permettra d'avoir une vision plus spatialisée (en horizontal et en vertical) de la circulation des eaux océaniques à l'intérieur de la baie.

Carême Hiver	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5
Température moyenne (°C)	26.51 26.96	26.78 28.08	26.83 29.03	26.83 28.89	26.85 28.90
Température minimale (°C)	24.40 25.13	25.91 26.58	26.16 28.39	26.22 28.19	25.47 28.17
Température maximale (°C)	27.06 28.49	27.27 29.23	27.56 29.46	27.50 29.34	26.46 29.56

Figure 32. Comparaison des valeurs de températures mesurées en période de carême et hivernage. Extrait du rapport Vincent (2017b).

Carême Hiver	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5
Salinité moyenne (PSU)	36.13 36.16	36.09 35.40	35.88 34.35	35.94 34.59	35.91 34.29
Salinité minimale (PSU)	35.80 35.25	35.74 34.46	35.70 33.93	35.76 34.06	35.50 33.80
Salinité maximale (PSU)	37 36.95	36.29 36.34	36.08 34.95	36.16 35.26	36.16 35.35

Figure 33. Comparaison des valeurs de salinité mesurées en période de carême et hivernage. Extrait du rapport Vincent (2017b).

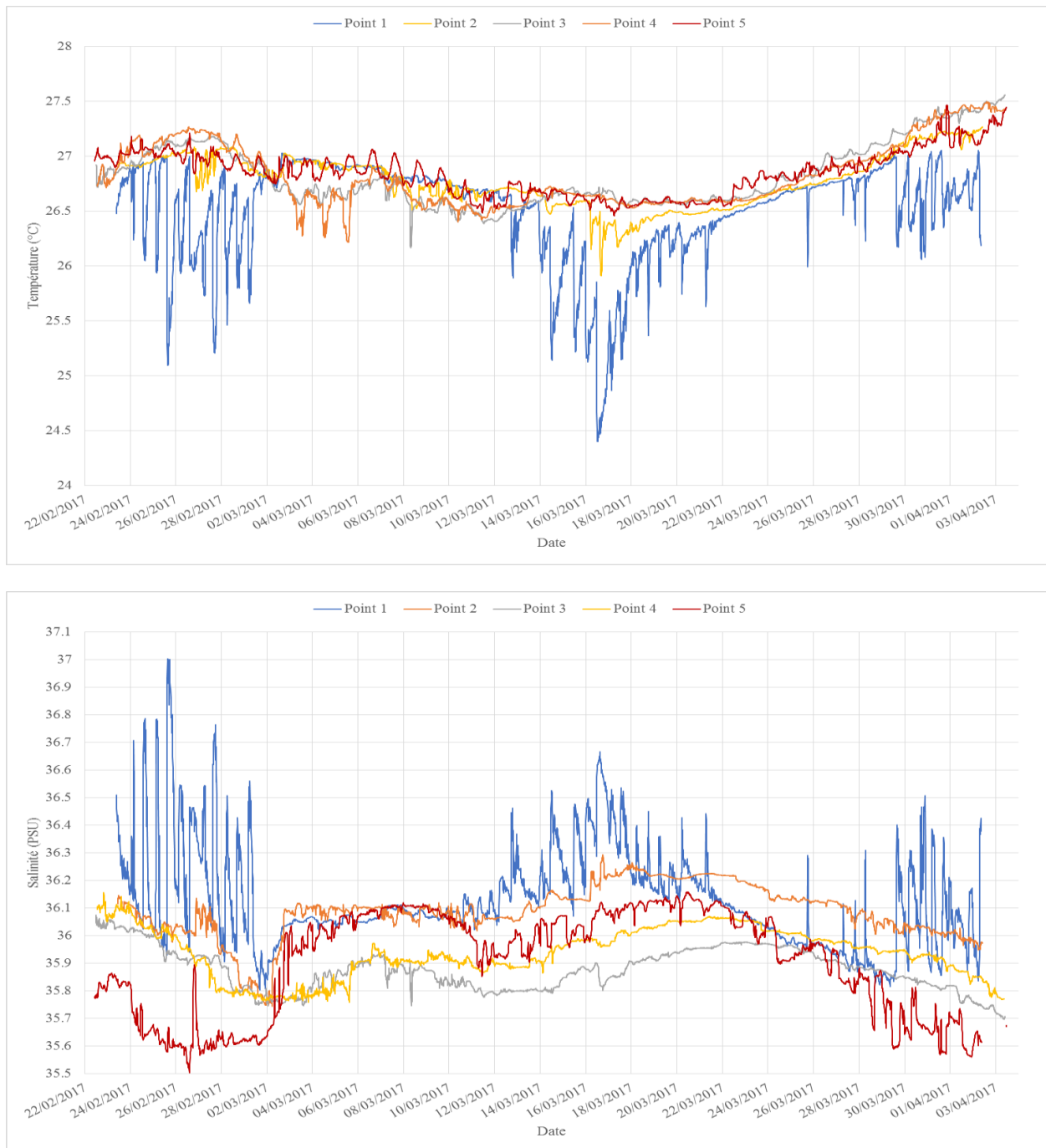


Figure 34. Température (haut) et salinité (bas) au fond en Carême. Extrait rapport Vincent (2017a).

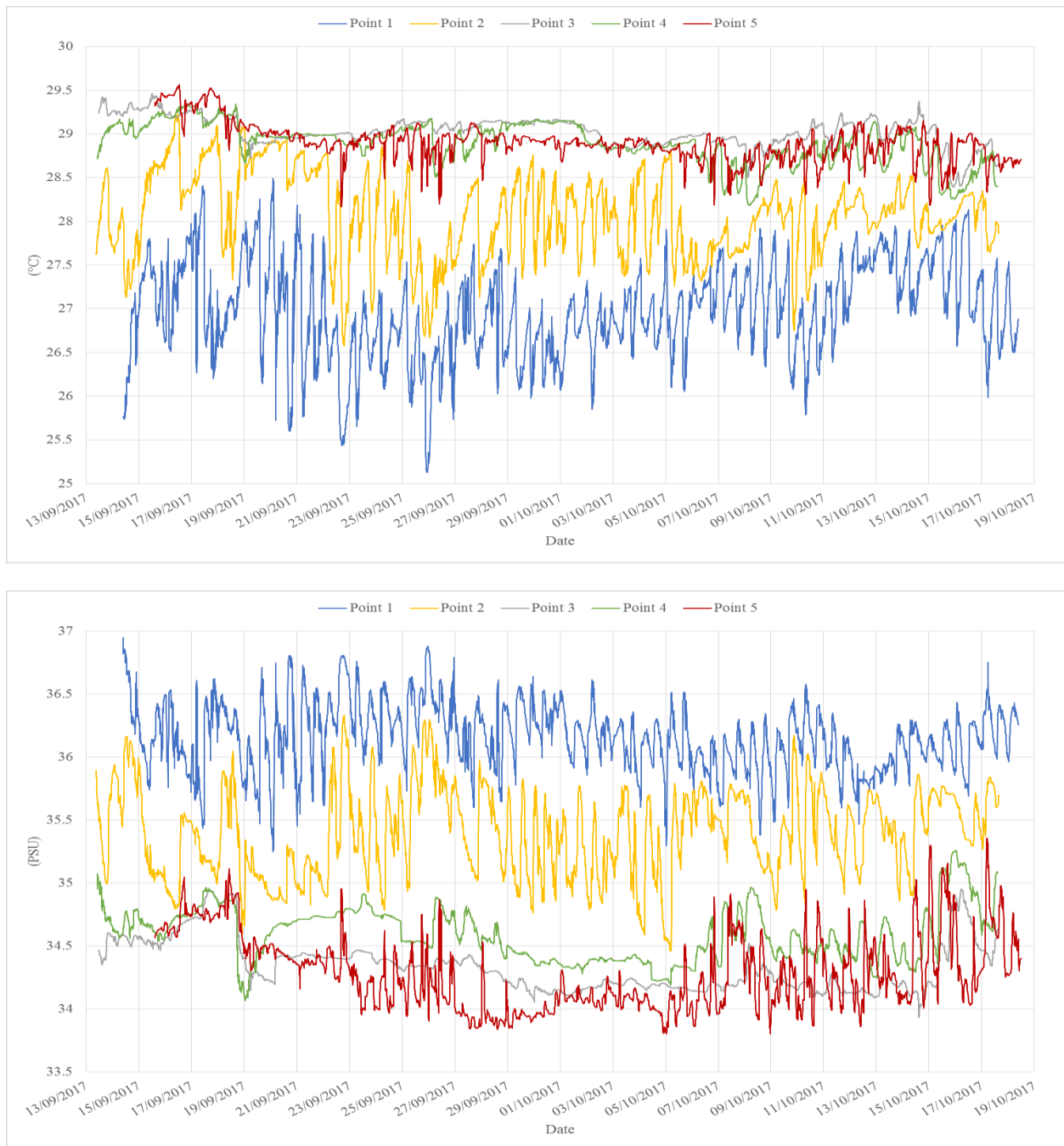


Figure 35. Température (haut) et salinité (bas) au fond en Carême. Extrait rapport Vincent (2017b).

4.3. TURBIDITE, MATIERE EN SUSPENSION ET ZONES DE DEPOT-EROSION

4.3.1. Turbidité dans ou à proximité des embouchures des rivières

A la station du pont Spitz (en amont de l'embouchure de la Rivière Lézarde), la turbidité moyenne mesurée est d'environ 30 NTU mais les pics observés peuvent monter jusqu'à 1000-1250 NTU (cf. Figure 36). Ces pics sont les plus fréquents sur la période d'août à septembre. De manière générale, on observe une bonne corrélation entre l'occurrence de fortes pluviométries et de turbidité sauf sur le pic à 1250 NTU en octobre 2017 qui pourrait s'expliquer par un relargage de la station d'épuration située à l'amont (cf. Desmazes et al., 2018).

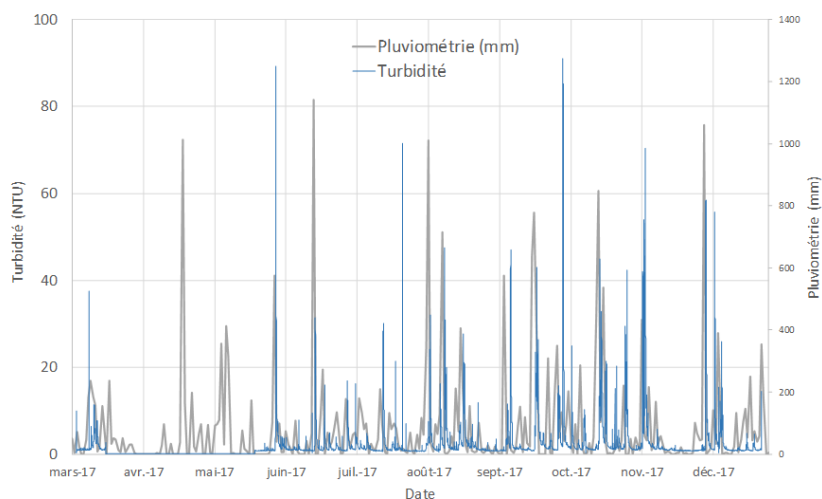


Figure 36. Mesures de turbidité au pont Spitz (bleu) et pluviométrie à la station de l'aéroport du Lamentin (gris) de mars à décembre 2017.

Au niveau de la station de mesure à 1 km de l'embouchure de la Rivière Salée (par 3 m de fond), la turbidité moyenne est d'environ 3 NTU sur l'année (cf. Figure 37) avec des pics pouvant monter jusqu'à 100-200 NTU et jusqu'à 700 NTU au début du mois de septembre. Ici, la corrélation entre pluviométrie et turbidité est beaucoup moins évidente qu'au pont Spitz. Les variations de turbidité semblent plutôt corrélées aux variations de niveau, pour les petites oscillations journalières, et à l'agitation, pour les pics plus importants comme au passage de Maria (voir Desmazes et al., 2018).

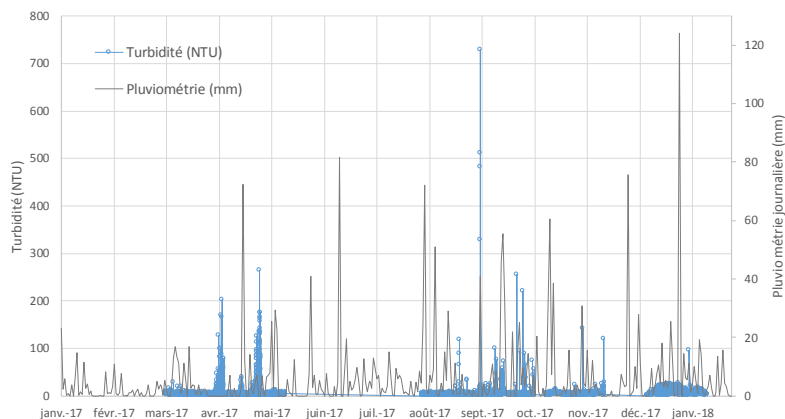


Figure 37. Mesures de turbidité à proximité de l'embouchure de la Rivière Salée (bleu) et pluviométrie à la station de l'aéroport du Lamentin (gris) de mars à décembre 2017.

Le suivi de la turbidité au droit des embouchures des rivières Salée et Lézarde le 22 septembre 2017 permet d'apprécier la chute rapide de la turbidité quand on s'éloigne des embouchures (cf. Figure 38 sur la Rivière Salée). Par ailleurs, les images prises à l'embouchure de la Rivière Salée (cf. Figure 39) suggèrent que la couleur marron visible à certains endroits n'est pas forcément un signe de forte turbidité. Cette couleur pourrait également être due à la couleur du fond, à des substances colorantes ou à une pellicule de surface qui n'est pas représentative de l'ensemble de la masse d'eau (Desmazes et al., 2018). L'interprétation des images de drone reste cependant limitée à cause de la présence de nuages et de la couleur variable des fonds.

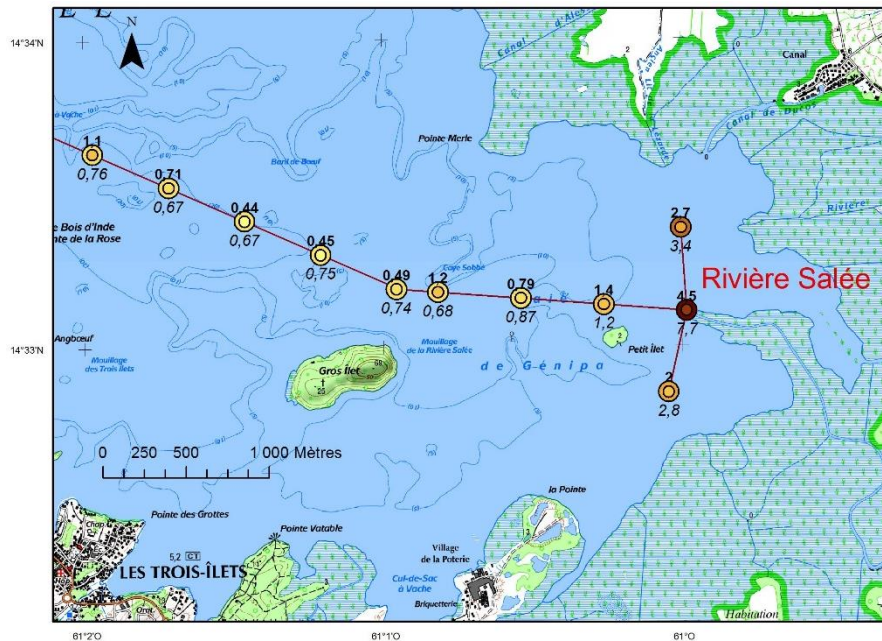


Figure 38. Turbidité mesurée sur le transect au droit de la Rivière Salée tous les 500m. Les valeurs au dessus des points indiquent la turbidité (NTU) au fond et les valeurs en dessous la turbidité en surface.



Figure 39. Images de drone prises à l'embouchure de la Rivière Lézarde. La zone cerclée indique la trace du passage d'un bateau qui laisse apparaître une eau plus claire sous la pellicule de surface.

4.3.2. Turbidité et Matières En Suspension (MES) dans la baie

Turbidité

Sur les 5 points de mesure des campagnes NORTEKMED, l'eau au fond est plus turbide en période Hivernale qu'en période de Carême et plus particulièrement sur le point 3 en fond de

baie dans la Cohé du Lamentin (cf. Figure 40). Par ailleurs, la turbidité de l'eau de mer n'est pas homogène sur les cinq points de mesure (cf. Figure 41) :

- ✓ Au niveau du canyon d'entrée (Point 1), très profond, la turbidité est toujours très faible avec des valeurs qui n'excèdent quasiment jamais 2 NTU. On note cependant une très légère variabilité (< 1 NTU) liée au cycles de la marée et à l'alternance des courants entrant / sortant ;
- ✓ Au sud du banc du Gros Ilet (Point 5), la turbidité est également faible la majorité du temps (<2 NTU) et ne semble pas rythmée par la marée. Cependant, elle semble plus sensible aux conditions d'agitation et de courants. Pendant la campagne de carême, la turbidité augmente sur la période du 28 février au 8 mars atteignant ponctuellement les 8 NTU. Cette période est marquée par des courants sortant au fond un peu plus intenses et une agitation plus importante. De même, pendant le passage du cyclone Maria, les fortes houles ont probablement remobilisé les sédiments déposés au fond et provoqué une turbidité dépassant 50 NTU ;
- ✓ Au milieu et en fond de baie, la turbidité est plus marquée. Les sites en fond de baie sont un peu plus turbides et présentent des fluctuations journalières avec des valeurs allant de 15 à 25 NTU. Ces augmentations en journée peuvent être liées aux conditions d'agitation plus importantes en journée (cf. paragraphe 4.2.3) combinées à des variations du niveau d'eau et de l'intensité et la direction des courants avec la marée. Le Point 3 en fond de baie côté Lamentin a également été marqué par une très forte augmentation de la turbidité autour de 30-40 NTU pendant le cyclone Maria. Le Point 4 en fond de baie côté Génipa ne connaît pas d'augmentation spécifique lors de cet épisode peut-être du fait de la houle très atténuée sur cette zone.

Carême Hiver	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5
Turbidité moyenne (NTU)	0.60 1.08	1.41 2.93	0.77 8.31	/ 5.98	1.15 1.30
Turbidité minimale (NTU)	0.29 0.51	0.69 0.77	0.65 1.21	/ 1.29	0.67 0.49
Turbidité maximale (NTU)	2.06 4.83	4.17 23.52	1.35 44.09	/ 36.49	7.83 52.88

Figure 40. Caractéristiques des turbidités mesurées pendant les campagnes de carême et hivernage. Extrait du rapport Vincent (2017b).

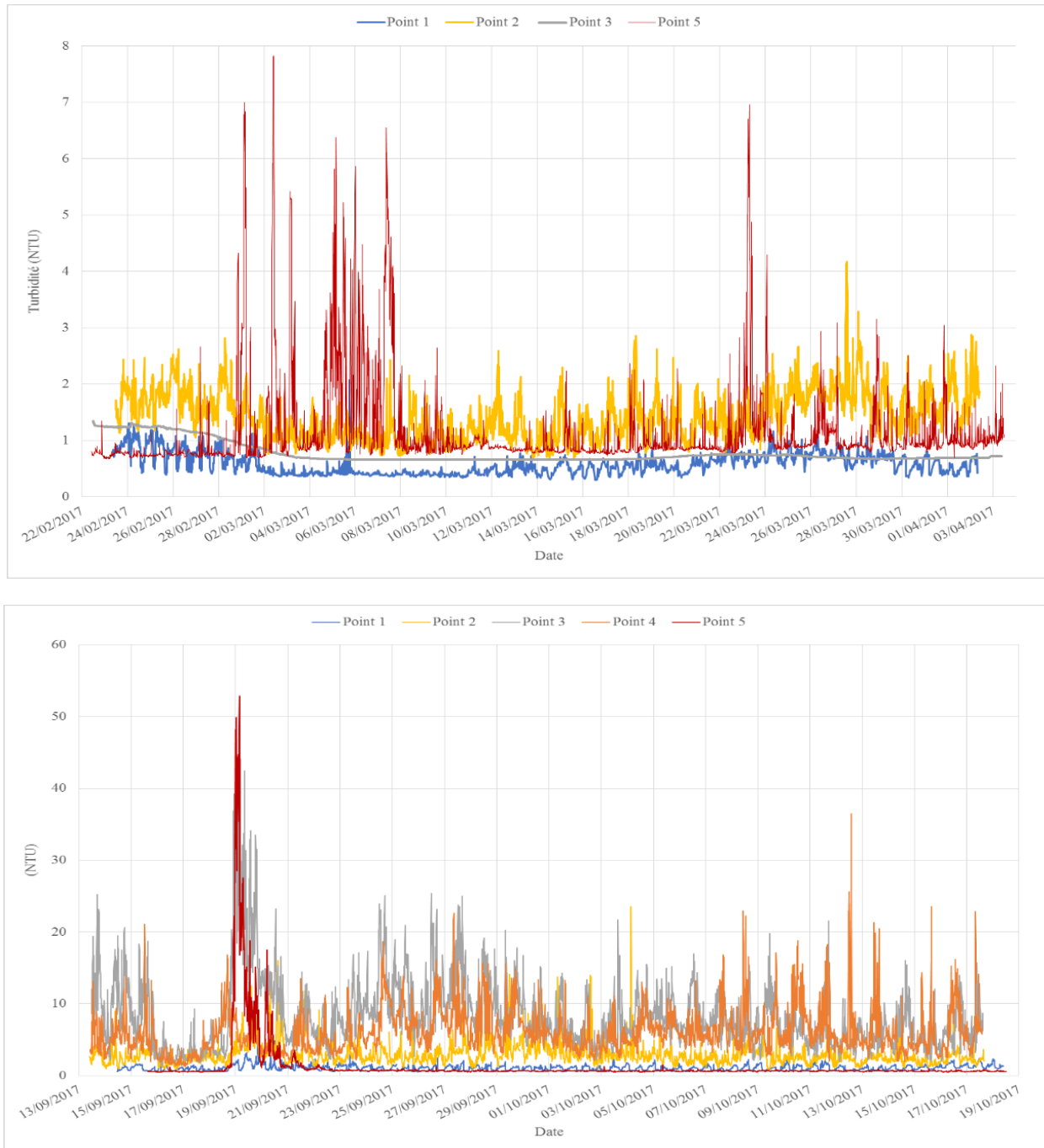


Figure 41. Variations de la turbidité au fond pendant les campagnes de carême (haut) et hivernage (bas). Remarque : sur la campagne de carême la turbidité au point 3 n'est pas considérée comme valide. Extraits des rapports Vincent (2017a) et Vincent (2017b).

Matières en suspension

Lors des prélèvements d'eau réalisés pendant de la campagne de carême (cf. Tableau 4), le taux de matières en suspension était très faible sur l'ensemble des échantillons prélevés et insuffisant la plupart du temps pour déterminer la part de composition minérale ou organique. Seuls certains prélèvements au fond mettent en évidence une proportion en MES un peu plus importante. D'après les résultats d'analyse, il s'agirait principalement de matière minérale. Les plus grandes proportions de MES ont été prélevées au fond sur les sites 3 et 4, en fond de baie.

Tableau 4 : Résultats d'analyse des prélèvements d'eau fond/milieu/surface sur la zone d'étude. Valeurs relevées lors de la pose et la relève des instruments de la campagne de carême (mg/L).
NB : MVS = Matières Volatiles en Suspension / MM = Matières Minérales.

		Point 1 Pose / relève	Point 2 Pose / relève	Point 3 Pose / relève	Point 4 Pose / relève	Point 5 Pose / relève
SURFACE	MES	< 2 / < 2	< 2 / < 2	< 2 / < 2	2 / < 2	< 2 / < 2
	MVS	< 2 / < 2	< 2 / < 2	< 2 / < 2	< 2 / < 2	< 2 / < 2
	MM	< 2 / < 2	< 2 / < 2	< 2 / < 2	0.1 à 2 / < 2	< 2 / < 2
MILIEU	MES	< 2 / < 2	< 2 / < 2	< 2 / < 2	< 2 / < 2	< 2 / < 2
	MVS	< 2 / < 2	< 2 / < 2	< 2 / < 2	< 2 / < 2	< 2 / < 2
	MM	< 2 / < 2	< 2 / < 2	< 2 / < 2	< 2 / < 2	< 2 / < 2
FOND	MES	< 2 / 2.7	4.7 / 2.8	5.7 / 15	2.2 / 21	< 2 / 2
	MVS	< 2 / < 2	< 2 / < 2	< 2 / < 2	< 2 / < 2	< 2 / < 2
	MM	< 2 / 0.8 à 2.7	2.8 à 4.7 / 0.9 à 2.8	3.8 à 5.7 / 13.1 à 15	0.3 à 2.2 / 19.1 à 21	< 2 / 0.1 à 2

Tableau 5 : Résultats d'analyse des prélèvements d'eau fond/milieu/surface sur la zone d'étude. Valeurs relevées lors de la pose et la relève des instruments de la campagne d'hivernage (mg/L).
NB : MVS = Matières Volatiles en Suspension / MM = Matières Minérales.

		Point 1 Pose / relève	Point 2 Pose / relève	Point 3 Pose / relève	Point 4 Pose / relève	Point 5 Pose / relève
SURFACE	MES	<2 / < 2	3.7 / 8.6	3.6 / 47	3.3 / 14	4.3 / < 2
	MVS	<2 / < 2	<2 / < 2	<2 / < 2	<2 / < 2	<2 / < 2
	MM	<2 / < 2	1.7 à 3.7 / 6.6 à 8.6	1.6 à 3.6 / 45 à 47	1.3 à 3.3 / 12 à 14	2.3 à 4.3 / < 2
MILIEU	MES	<2 / < 2	3.4 / < 2	3.4 / 3.5	4.6 / 2.7	<2 / < 2
	MVS	<2 / < 2	<2 / < 2	<2 / < 2	<2 / < 2	<2 / < 2
	MM	<2 / < 2	1.4 à 3.4 / < 2	1.4 à 3.4 / 1.5 à 3.5	2.6 à 4.6 / 0.7 à 2.7	<2 / < 2
FOND	MES	<2 / < 2	7.5 / 3	8.6 / 13	5.9 / 9.8	<2 / < 2
	MVS	<2 / < 2	<2 / < 2	<2 / < 2	<2 / < 2	<2 / < 2
	MM	<2 / < 2	5.5 à 7.5 / 1 à 2	6.6 à 8.6 / 11 à 13	3.9 à 5.9 / 7.8 à 9.8	<2 / < 2

Lors des prélèvements d'eau réalisés pendant de la campagne d'hivernage (cf. Tableau 5), le taux de matières en suspension était également très faible en entrée de baie (Points 1 et 5). A la pose, les points en milieu et en fond de baie présentent des taux de MES de l'ordre de 3 à 5 mg/L. Au fond, les taux relevés sur ces points sont deux fois plus importants que ceux relevés au milieu de la colonne d'eau. En surface, les taux sont de l'ordre de 3 à 4 mg/L lors de la pose et

sont très importants (10 à 47 mg/L) lors de la récupération en octobre. Ces valeurs, issues de prélèvements ponctuelles, doivent être utilisées avec précaution dans la mesure où ce sont des mesures réalisées à un instant donné, et peuvent être parfois contaminées par les opérations de prélèvements. Sur l'ensemble des échantillons prélevés, la composante organique est infime.

4.3.3. Turbidité et évolution du fond dans les zones de vasières (mangroves)

Les Altus sont installés dans des zones constituées d'une épaisseur importante de crème de vase : il s'agit d'une zone de transition entre une couche dense de MES et la vase en cours de consolidation. Les capteurs Altus peuvent donc fournir des informations sur la dynamique de la vase en cours de consolidation, à condition de pouvoir pénétrer dans la crème de vase. Comme indiqué au paragraphe 3.2.2, seuls les Altus 2 et 3 ont fourni des mesures exploitables, les Altus 1 et 4 étant localisés dans des secteurs où la crème de vase s'est avérée trop épaisse.

La Figure 42 indique la profondeur détectée par l'Altus en fonction d'un seuil de signal rétrodiffusé. Les seuils de détection paramétrés pour l'appareil étaient relativement bas car l'interface n'est pas solidifiée et le taux de rétrodiffusion est faible. La profondeur observée est interprétée comme l'interface de transition entre la zone de forte turbidité et une zone de sédimentation formée d'une vase fluide plus dense. Sur le secteur de l'Altus 3 (Canal Cocotte), on observe des séquences de tassement de la vase ponctuées par des périodes où l'interface n'est pas visible. Ces périodes peuvent correspondre à un épaississement de la crème de vase dû notamment à des apports plus importants des rivières pendant la saison humide et / ou à une interface située trop bas pour être détectée par le capteur. Ces apports permettraient d'expliquer que l'interface est détectée plus haut en septembre qu'en juin 2017 (ce qui correspond à un engraissement) avant une nouvelle séquence de tassement. Cette première interprétation des données doit être approfondie dans le cadre d'un travail en cours associé à une collaboration avec le laboratoire EPOC d'ici la fin du projet.

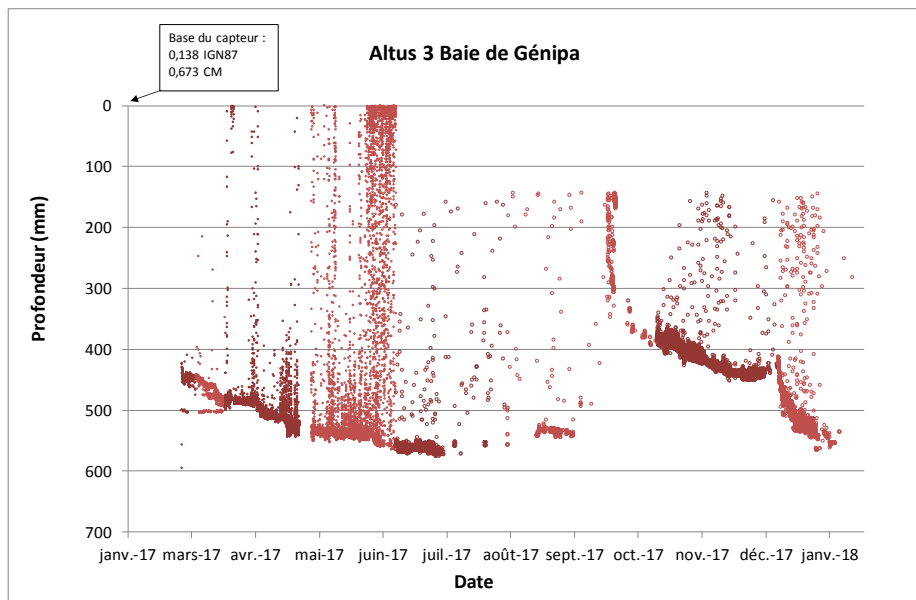


Figure 42. Profondeurs de rétrodiffusion du signal acoustique de l'Altus.

4.3.4. Synthèse et pistes d'analyse pour la phase de modélisation

Les mesures de turbidité, MES et d'évolution du fond pourront être utilisées dans une suite éventuelle au projet ou dans le cadre d'études annexes. Ces mesures indiquent que :

- ✓ La turbidité aux embouchures est contrôlée par le débit et la pluviométrie ;

- ✓ Dans la baie, la turbidité chute très rapidement et semble essentiellement contrôlée par les conditions hydrodynamiques qui remettent en suspension les sédiments avec des processus dont l'influence dépend de la profondeur d'eau (interactions entre agitation, courants, niveau d'eau) ;
- ✓ Les apports en MES des rivières alimentent les abords des mangroves dans les secteurs des Altus sur lesquels on observe un tassement régulier de la vase.

4.4. FONCTIONNEMENT DE LA BAIE EN CONDITIONS CYCLONIQUES LORS DU PASSAGE DE MARIA

Si on s'intéresse au courant, on n'observe pas d'impact notable sur les courants de surface en fond et au milieu de la baie. Le Point 1 (en entrée de baie) présente quelques accélérations du courant de 15 à 25 cm/s mais c'est surtout le Point 5 (sur le plateau du Gros Îlet) qui montre une intensification significative du courant de 25 à 30 cm/s. Les directions de propagation au niveau du Point 5 sont plutôt sortantes vers le SW.

Concernant les paramètres de houle, les sites 1, 3 et 5 présentent une augmentation synchrone de l'état de mer dans la journée du 18 septembre. Dans l'ordre c'est le Point 5 qui connaît les plus fortes houles (2.74 m), puis le Point 1 (2.34 m) et enfin le Point 2 (1.87 m). Les points 3 et 4 sont également agités par les houles cycloniques et la mer de vent mais de manière décalée (plusieurs heures après les sites à l'extérieur et au milieu de la baie) et surtout de manière moindre puisque les hauteurs significatives maximales relevées sur ces sites sont inférieures à 1 m. La provenance des vagues change au fur et à mesure de la montée de l'état de mer : elle est plutôt WNW dans la journée du 18 septembre puis apparaît plutôt SW à WSW le 19 septembre (sauf pour le Point 4 où la provenance reste WNW).

La température de l'eau de mer au fond dans la zone d'étude augmente sur les sites 1 et 2 dans la journée du 18 septembre. Il n'y a pas de variations notables sur les sites 3, 4 et 5. Sur les mesures de température dans la colonne d'eau à l'entrée de baie, on observe également cette augmentation de température dans la journée du 18 septembre en profondeur (entre -50 et -27 m) et rien de notable pour les mesures dans la partie supérieure de la colonne d'eau. La salinité tend globalement à baisser sur cette période d'étude et de manière plus marquée dans les zones plus profondes. Les conditions thermo-halines ont tendance à s'homogénéiser dans la partie supérieure de la colonne d'eau.

La turbidité a augmenté sur toute la zone d'étude. L'augmentation a été très faible (< 10 NTU) sur les sites profonds (Point 1 à 50 m et Point 2 à 30 m). En revanche, sur le site 5 en entrée de baie, les fortes houles ont probablement remobilisés les sédiments déposés au fond et provoqué une turbidité dépassant 50 NTU. Le Point 3 en fond de baie côté Lamentin a également été marqué par une très forte augmentation de la turbidité autour de 30-40 NTU. Le Point 4 en fond de baie côté Génipa ne connaît pas d'augmentation spécifique lors de cet épisode cyclonique peut-être du fait de la houle très atténuée sur cette zone.

5. Synthèse et conclusion

Les campagnes réalisées dans le cadre du projet Hydrosedmar complètent les connaissances existantes sur le fonctionnement hydro-sédimentaire de la baie et fournissent des données de validation pour de futures modélisations hydrodynamiques, voire hydro-sédimentaires. Ces données, mises à disposition sur le site internet du projet, pourront donc être réutilisées pour approfondir certains aspects dans des études ultérieures.

Les principaux enseignements issus d'une première analyse des données sont les suivant :

Nature du fond

En entrée de baie, les sédiments sont riches en carbonates et en graviers issu des récifs coralliens. La fraction organique est relativement faible (<10%) et les sédiments sont des sables moyens à grossiers (valeur médiane ~300-500 µm). En fond de baie, les sédiments sont des vases fines beaucoup moins riches en carbonates, mais présentent un taux de matière organique plus élevée (~25%). Les sédiments sont beaucoup plus fins qu'à l'entrée avec une valeur médiane de l'ordre de 10 µm.

Niveau d'eau

Les marnages observés à l'entrée de la baie (Point 1) vont de 10 cm à 35 cm durant les deux périodes de mesure. Dans la baie de Fort-De-France, les fluctuations du niveau d'eau sont simultanées (à 10 minutes près) et similaires en amplitude (à quelques centimètres près). Dans la baie de Génipa, on observe également des fluctuations horaires qui pourraient s'apparenter à un phénomène de seiche dû à la géométrie de la baie dans ce secteur. Lors du passage du cyclone Maria, le niveau maximal atteint au marégraphe de Fort-de-France était de 1m au-dessus du zéro hydrographique comprenant une surcote d'environ 20 cm (source : REFMAR).

Courants

De manière générale, les intensités des courants mesurés pendant les campagnes Hydrosedmar sont plutôt faibles, majoritairement inférieures à 20-30 cm/s, ce qui est cohérent avec les campagnes réalisées précédemment par Castaing et al. (1986). En outre, les campagnes Hydrosedmar ont permis de mettre en évidence des caractéristiques intéressantes sur le fonctionnement général des courants, notamment :

- ✓ Le canyon d'entrée (Point1) joue un rôle primordial dans les entrées et sorties d'eau de la baie. C'est le secteur où les courants les plus intenses ont été mesurés, surtout les courants sortant de la baie au fond, au moment de la marée descendante, qui ont atteint des valeurs de 64 cm/s pendant le passage du cyclone Maria ;
- ✓ Les courants à l'entrée de la baie sont plus intenses pendant la campagne d'hivernage que pendant la campagne de carême ;
- ✓ Il existe différents modes de circulation des courants à l'entrée de la baie qui ne sont pas liés aux différences de marnage mais qui pourraient être influencés par les apports océaniques (gyres) ou d'éventuelles ondes internes.

Vagues

Les campagnes Hydrosedmar constituent les premières campagnes de mesure de l'agitation à l'intérieur de la baie de Fort-de-France. Elles ont permis d'observer un fonctionnement bimodal avec la présence simultanée :

- ✓ De houles longues qui sont issues de la combinaison de houles d'Est qui ont réfracté au Nord et au Sud de l'île et rentrent dans la baie avec des hauteurs significatives très faibles (inférieures à 50 cm) ;
- ✓ De clapot généré par le vent local dont l'énergie et la proportion varient selon l'endroit de la baie et en fonction de l'alternance jour (brise de terre) / nuit (brise de mer).

A noter cependant que les houles longues n'atteignent vraisemblablement pas la baie de Génipa car elles sont très fortement dissipées dans ce secteur.

Il s'agit donc d'un fonctionnement complexe avec des phénomènes de petite amplitude.

Température et salinité

Sur la zone d'étude, l'eau de mer est tempérée à chaude durant la période de mesure (variations entre 24.5°C et 29.6°C) et est relativement salée (variations de 33.8 à 37 PSU). Les variations de température et salinité au fond semblent contrôlées par la marée dans le canyon à l'entrée de la baie et jusqu'en milieu de baie quand les courants sont suffisamment importants. Le fond de la baie (Cohé du Lamentin et Baie de Génipa) semble moins soumis aux variations quotidiennes dues aux courants mais est plus sensible aux variations saisonnières entre carême et hivernage.

Turbidité dans la baie

Les valeurs de turbidité mesurées dans la baie lors des campagnes Hydrosedmar sont cohérentes avec celles relevées par Castaing et al. (1986) : globalement inférieures à 10 NTU soit des turbidités très faibles. Les mesures continues effectuées lors des campagnes Hydrosedmar ont apporté des éléments supplémentaires sur la variabilité de la turbidité dans la baie. On remarque notamment que :

- ✓ La turbidité en fond de baie est marquée par une périodicité journalière (de quelques NTU) due à la périodicité du niveau d'eau et des conditions d'agitation mais ne semble pas ou peu corrélée de manière significative aux épisodes pluvieux ;
- ✓ Les pics de turbidité (qui peuvent monter jusqu'à 30-50 NTU) sont dus à des conditions d'agitation plus importante comme pendant le passage du cyclone Maria.

Zones de dépôt-érosion

Dans les zones constituées d'une épaisseur importante de crème de vase en fond de baie, c'est-à-dire dans les zones de transition entre une couche dense de MES et la vase en cours de solidification, on observe des séquences de tassement de la vase ponctuées par des périodes où l'interface n'est pas visible. Ces périodes peuvent correspondre à un épaissement de la crème de vase dû notamment à des apports plus importants des rivières pendant la saison humide.

6. Bibliographie

Castaing P., De Resseguier A., Julius C., Parra M., Pons J.C., Pujos M., Weber O. (1986) - Qualité des eaux et des sédiments dans la baie de Fort de France (Martinique). Rapport de contrat, 84.L.0896. Institut Géologique du Bassin d'Aquitaine. Bordeaux, 93 pp.

F. Desmazes, S. Lecacheux, G. Verbieze, A.L. Taillame, M. Lombard, D. Idier, R. Pedreros (2018) – Projet HYDROSEDMAR : Mesures hydro-sédimentaires complémentaires réalisées en continu dans la baie de Fort-de-France (2017-2018). Rapport final. 121 p., 62 ill., 6 tabl., 6 ann.

Idier D., Le Roy M., Gervais M. et Cayocca F. (2014) – Modélisation hydro-sédimentaire de la baie de Fort-de-France : besoins des acteurs et programme technique. Rapport final. BRGM/RP-63433-FR, 87 p., 19 fig., 2 tabl., 7 ann.

Guennoc P. et Duclos P. (2008) - Cartographie morpho-sédimentologique du domaine côtier de la Martinique. Rapport final. Rapport BRGM/RP-56062-FR. 64 pp.

Lynne D. Talley, George L. Pickard, William J. Emery, James H. Swift, Chapter 8 - Gravity Waves, Tides, and Coastal Oceanography, Ed. Lynne D. Talley, George L. Pickard, William J. Emery, James H. Swift. (2011) - Descriptive Physical Oceanography (Sixth Edition), Academic Press, Pages 223-244, ISBN 9780750645522. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-4552-2.10008-3>.

Vincent L. (2017a) - Mesures hydro-sédimentaires dans le baie de Fort-de-France en Martinique, période de carême du 22/02/2017 au 04/04/2017. EON1496_Rapport_HydroSed_Careme_2017.

Vincent L. (2017b) - Mesures hydro-sédimentaires dans le baie de Fort-de-France en Martinique, période hivernale du 13/09/2017 au 18/10/2017. EON1496_Rapport_HydroSed_Hiver_2017.

Annexe 1

Instrumentation des 5 points de mesure NORTEKMED pendant les campagnes de carême et hivernage

Point	Instrumentation	Paramètres	Programmation	Périodes
Point 1 (50m) -61° 4,634' 14° 34,786'	AWAC 600 KHz SN 6515	Profil de Courant Niveau d'eau Houle	Toutes les 10 min (moy 1 min), couche 2 m, zone blanche 0.5 m Toutes les 10 min (moy 1 min) Toutes les 30 min, 1024 points à 2 Hz	<u>Carême :</u> du 22/02/2017 au 04/04/2017
	CTD Seabird SBE37 SN 7168	Température Salinité	Toutes les 10 min au fond + à la pose et la relève sur la colonne d'eau Toutes les 10 min au fond + à la pose et la relève sur la colonne d'eau	<u>Hivernage :</u> du 13/09/2017 au 18/10/2017
	Turbidimètre OBS3+ SN 9090	Turbidité	Toutes les 10 min au fond + à la pose et la relève sur la colonne d'eau	
	Prélèvements: eau / sédiments	MES / Granulométrie	A la pose et la relève : sur la colonne d'eau / au fond	
Point 2 (30m) -61° 3,321' 14° 34,220'	AWAC 600 KHz SN 5869	Profil de Courant Niveau d'eau Houle	Toutes les 10 min (moy 1 min), couche de 1 m, zone blanche 0.5 m Toutes les 10 min (moy 1 min) Toutes les 30 min, 1024 points à 2 Hz	<u>Carême :</u> du 22/02/2017 au 04/04/2017
	CTD Seabird SBE37 SN 7169	Température Salinité	Toutes les 10 min au fond + à la pose et la relève sur la colonne d'eau Toutes les 10 min au fond + à la pose et la relève sur la colonne d'eau	<u>Hivernage :</u> du 13/09/2017 au 18/10/2017
	Turbidimètre OBS3+ SN 9091	Turbidité	Toutes les 10 min au fond + à la pose et la relève sur la colonne d'eau	
	Prélèvements: eau / sédiments	MES / Granulométrie	A la pose et la relève : sur la colonne d'eau / au fond	
Point 3 (14m) -61° 1,875' 14° 35,381'	AWAC 1 MHz SN 5632	Profil de Courant Niveau d'eau Houle	Toutes les 10 min (moy 1 min), couche de 1 m, zone blanche 0.5 m Toutes les 10 min (moy 1 min) Toutes les 30 min, 2048 points à 4 Hz	<u>Carême :</u> du 22/02/2017 au 04/04/2017
	CTD Seabird SBE37 SN 7177	Température Salinité	Toutes les 10 min au fond + à la pose et la relève sur la colonne d'eau Toutes les 10 min au fond + à la pose et la relève sur la colonne d'eau	<u>Hivernage :</u> du 13/09/2017 au 18/10/2017
	Turbidimètre OBS3+ SN 8696	Turbidité	Toutes les 10 min au fond + à la pose et la relève sur la colonne d'eau	
	Prélèvements: eau / sédiments	MES / Granulométrie	A la pose et la relève : sur la colonne d'eau / au fond	
Point 4 (18m) -61° 0,956' 14° 33,189'	AWAC 1 MHz SN 6369	Profil de Courant Niveau d'eau Houle	Toutes les 10 min (moy 1 min), couche de 1 m, zone blanche 0.5 m Toutes les 10 min (moy 1 min) Toutes les 30 min, 2048 points à 4 Hz	<u>Carême :</u> du 22/02/2017 au 04/04/2017
	CTD Seabird SBE37 SN 7171	Température Salinité	Toutes les 10 min au fond + à la pose et la relève sur la colonne d'eau Toutes les 10 min au fond + à la pose et la relève sur la colonne d'eau	<u>Hivernage :</u> du 13/09/2017 au 18/10/2017
	Turbidimètre OBS3+ SN 9094	Turbidité	Toutes les 10 min au fond + à la pose et la relève sur la colonne d'eau	
	Prélèvements: eau / sédiments	MES / Granulométrie	A la pose et la relève : sur la colonne d'eau / au fond	
Point 5 (15m) -61° 4,971' 14° 33,967'	AWAC 1 MHz SN 6222	Profil de Courant Niveau d'eau Houle	Toutes les 10 min (moy 1 min), couche de 1 m, zone blanche 0.5 m Toutes les 10 min (moy 1 min) Toutes les 30 min, 2048 points à 4 Hz	<u>Carême :</u> du 22/02/2017 au 04/04/2017
	CTD Seabird SBE37 SN 7175	Température Salinité	Toutes les 10 min au fond + à la pose et la relève sur la colonne d'eau Toutes les 10 min au fond + à la pose et la relève sur la colonne d'eau	<u>Hivernage :</u> du 13/09/2017 au 18/10/2017
	Turbidimètre OBS3+ SN 8457	Turbidité	Toutes les 10 min au fond + à la pose et la relève sur la colonne d'eau	
	Prélèvements: eau / sédiments	MES / Granulométrie	A la pose et la relève : sur la colonne d'eau / au fond	

Ligne 1 (30m) -61° 4,776' 14° 35,034'	CTD Seabird SBE39 SN 5518	Température	Toutes les 10 min / Immersion -5 m	<u>Hivernage :</u> du 13/09/2017 au 18/10/2017
	CTD Seabird SBE37 SN 5375	Température Salinité Pression	Toutes les 10 min / Immersion -10 m Toutes les 10 min Toutes les 10 min	
	CTD Seabird SBE37 SN 7179	Température Salinité Pression	Toutes les 10 min / Immersion -20 m Toutes les 10 min Toutes les 10 min	
	CTD Seabird SBE37 SN 6504	Température Salinité Pression	Toutes les 10 min / Immersion -27 m Toutes les 10 min Toutes les 10 min	
Ligne 2 (50m) -61° 4,639' 14° 34,798'	Aquatec SN 023-1620	Température	Toutes les 10 min / Immersion -27 m	<u>Hivernage :</u> du 13/09/2017 au 18/10/2017
	CTD Seabird SBE37 SN7192	Température Salinité Pression	Toutes les 10 min / Immersion -40 m Toutes les 10 min Toutes les 10 min	
	Aquatec SN 023-1935	Température	Toutes les 10 min / Immersion -45 m	
	Aquatec SN 023-1934	Température	Toutes les 10 min / Immersion -47 m	

Annexe 2

Validité des mesure NORTEKMED pendant les campagnes de carême et hivernage

Données valides : mesures continues campagne de carême

<i>Point de mesure</i>	<i>Paramètre mesuré</i>	<i>Du</i>	<i>Au</i>	<i>% de données disponibles</i>	<i>% de données valides (après contrôle)</i>
Point 1	Courant	23/02/2017	2/04/2017	100 %	93.54 %
	Niveau d'eau			100 %	100 %
	Houle			100 %	99.45 %
	Température			100 %	100 %
	Salinité			100 %	99.85 %
	Turbidité			100 %	51.42 %
Point 2	Courant	23/02/2017	2/04/2017	100 %	90.68 %
	Niveau d'eau			100 %	100 %
	Houle			100 %	99.78 %
	Température			100 %	100 %
	Salinité			100 %	100 %
	Turbidité			100 %	97.44 %
Point 3	Courant	22/02/2017	3/04/2017	100 %	98.85 %
	Niveau d'eau			100 %	100 %
	Houle			100 %	99.84 %
	Température			100 %	100 %
	Salinité			100 %	99.72 %
	Turbidité			100 %	33.32 %
Point 4	Courant	22/02/2017	3/04/2017	0 %	/
	Niveau d'eau			100 % (CTD)	100 %
	Houle			0 %	/
	Température			100 %	100 %
	Salinité			100 %	99.72 %
	Turbidité			0 %	/
Point 5	Courant	22/02/2017	3/04/2017	100 %	96.80 %
	Niveau d'eau			100 %	100 %
	Houle			100 %	99.90 %
	Température			100 %	100 %
	Salinité			100 %	97.21 %
	Turbidité			100 %	92.82 %

Données valides : mesures continues campagne d'hivernage

<i>Point de mesure</i>	<i>Paramètre mesuré</i>	<i>Du</i>	<i>Au</i>	<i>% de données disponibles</i>	<i>% de données valides (après contrôle)</i>
Point 1	Courant	14/09/2017	18/10/2017	100 %	98.47 %
	Niveau d'eau			100 %	100 %
	Houle			100 %	100 %
	Température			100 %	99.90 %
	Salinité			100 %	99.80 %
	Turbidité			100 %	99.73 %
Point 2	Courant	13/09/2017	17/10/2017	100 %	97.81 %
	Niveau d'eau			100 %	100 %
	Houle			100 %	100 %
	Température			100 %	99.9 %
	Salinité			100 %	99.9 %
	Turbidité			100 %	98.56 %
Point 3	Courant	13/09/2017	17/10/2017	100 %	99.36 %
	Niveau d'eau			100 %	100 %
	Houle			100 %	96.70 %
	Température			100 %	100 %
	Salinité			100 %	100 %
	Turbidité			100 %	99.57 %
Point 4	Courant	13/09/2017	17/10/2017	100 %	99.41 %
	Niveau d'eau			100 %	100 %
	Houle			100 %	99.94 %
	Température			100 %	99.8 %
	Salinité			100 %	99.8 %
	Turbidité			100 %	98.73 %
Point 5	Courant	15/09/2017	18/10/2017	100 %	99.52 %
	Niveau d'eau			100 %	100 %
	Houle			100 %	99.93 %
	Température			100 %	99.9 %
	Salinité			100 %	99.9 %
	Turbidité			100 %	99.54 %
Ligne 1	Température -5m	14/09/2017	18/10/2017	100 %	99.84 %
	Température -10m			100 %	99.86 %
	Salinité -10m			100 %	99.86 %
	Température -20m			100 %	99.84 %
	Salinité -20m			100 %	99.76 %
	Température -27m			100 %	99.88 %
Ligne 2	Salinité -27m	14/09/2017	18/10/2017	100 %	99.78 %
	Température -27m			100 %	99.88 %
	Température -40m			0 %	/
	Salinité -40m			0 %	/
	Température -45m			100 %	99.78 %
	Température -47m			100 %	100 %

Données valides : mesures continues température-salinité sur les lignes 1 et 2

	Ligne 1 (bouée)	Ligne 2 (fond)	Point 1	Température	Salinité
-5 m	SBE 39 SN5518			✓	
-10 m	SBE37 SN 5375			✓	✓
-20 m	SBE37 SN7179			✓	✓
-27 m	SBE37 SN 6504	Aqualogger 520T SN 023-1620		✓	✓
-40 m		SBE37 SN 7192 *		/	/
-45 m		Aqualogger 520T SN 023-1935		✓	
-47 m		Aqualogger 520T SN 023-1934		✓	
-50 m			SBE37 SN 8318	✓	✓

Annexe 3

Instrumentation des mesures complémentaires du BRGM sur 1 an

Point de mesure	Instrumentation	Paramètres mesurés	Programmation	Dates disponibles (tout ou partie des mesures)
Altus 1 Californie	Altus NKE	Distance capteur-fond Pression	cadence (Hz) : 0.5 durée de mesure : 5 min cycle (min) : 20 Seuils : 5/10/25/45 Filtre sur données de profondeur : aucun	du 03/03/2017 au 08/06/2017 du 01/08/2018 au 17/01/2018
	Sonde In Situ Aquatroll	Température, salinité et turbidité	Mesures ponctuelles toutes les 10min	du 13/10/2017 au 12/12/2017
Altus 2 Morne Cabrit	Altus NKE	Distance capteur-fond Pression	cadence (Hz) : 0.5 durée de mesure : 5 min cycle (min) : 20 Seuils : 5/10/25/45 Filtre sur données de profondeur : 1/120 ou 1/60	du 24/02/2017 au 04/04/2017 du 29/04/2017 au 07/05/2017 du 08/06/2017 au 30/09/2017 du 18/10/2017 au 26/10/2017
Altus 3 Canal Cocotte	Altus NKE	Distance capteur-fond Pression	cadence (Hz) : 0.5 durée de mesure : 5 min cycle (min) : 20 Seuils : 10/25/45/90 Filtre sur données de profondeur : 1/120	du 24/02/2017 au 22/04/2017 du 29/04/2017 au 15/01/2018
Altus 4 Rivière Salée	Altus NKE	Distance capteur-fond Pression	cadence (Hz) : 0.5 durée de mesure : 5 min cycle (min) : 20 Seuils : 5/10/25/45 Filtre sur données de profondeur : aucun	du 24/02/2017 au 17/01/2018
Rivière Lézarde Pont Spitz	Turbibimètre Campbell OBS 3+, 0-1000/4000 NTU	Turbidité	cycle (min) : 10 durée de mesure : 1 min Montage : fixe	du 01/03/2017 au 25/12/2017
	Courantomètre ponctuel Nortek Aquadopp	Vitesse et direction du courant, pression	cycle (min) : 10 durée de mesure : 1 min Montage : fixe	
Baie de Genipa, Rivière Salée	Turbibimètre Campbell OBS 3+, 0-250/1000NTU	Turbidité	cycle (min) : 10 durée de mesure : 1 min Montage : mouillage	du 03/03/2017 au 08/06/2017 du 01/08/2017 au 12/10/2017 du 12/10/2017 au 10/12/2017 du 13/12/2017 au 16/01/2018
	Courantomètre ponctuel Nortek Aquadopp	Vitesse et direction du courant, pression	cycle (min) : 10 durée de mesure : 1 min Montage : mouillage	

Annexe 4

Validité des mesures complémentaires du BRGM sur 1 an

Qualité des mesures de turbidité effectuées à proximité des embouchures

[illegible]

Qualité des mesures d'évolution du fond des zones de vasière

[illegible]

Remarque: les périodes blanches correspondent à l'absence de données de turbidité ou de profondeur en lien avec des problèmes de paramétrisation ou de saturation de la mémoire de l'appareil.



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009
45060 Orléans Cedex 2 - France
Tel. 02 38 64 34 34

Direction Régionale Martinique
4 Lot. Miramar
Route Pointe des Nègres
97200 – Fort de France – France
Tél. : 05 96 71 17 70