Rapport de mesures dans le lagon de Hienghène-Touho – Province Nord - Nouvelle-Calédonie

SPHYNX - Suivi des Paysages HYdrologiques des lagons Nord

Romain Le Gendre(1);Benoît Soulard (1);Hugues Lemonnier (1);Thierry Laugier (1);Morgane Hubert (1);Térence Desclaux (1);Florence Royer (1);Eric Le Tesson (1);Franck Dumas (2);Jean-François Kayara (3)

1 : IFREMER - LEAD-NC

2 : SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

3 : DDEE Province Nord : Service des milieux et ressources aquatiques

09/08/2018

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION 11

2. CONTEXTE DE LA ZONE D'ETUDE ET DE LA PERIODE ECHANTILLONNEE 12

2.1. DESCRIPTION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE 12
2.1.1. Géomorphologie 12
2.1.2. Dimensions caractéristiques 15
2.1.3. Bassins versants 17
2.2. STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE 19
2.3. CONTEXTE HYDRO-CLIMATIQUE 21
2.3.1. Contexte océanique 21
2.3.2. Contexte atmosphérique 26
2.3.3. Apports terrigènes 29

3. PRESENTATION DES MESURES ACQUISES 30

3.1. LEG 1 : DU 02/12/2014 AU 02/03/2015 30
3.2. LEG 2 : DU 02/03/2015 AU 01/06/2015 33
3.3. LEG 3 : DU 01/06/2015 AU 31/08/2015 36
3.4. LEG 4 : DU 31/08/2015 AU 07/12/2015 39
3.5. LEG 5 : DU 07/12/2015 AU 10/03/2016 42

4. CONCLUSION 47

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de la Nouvelle-Calédonie et des zones inscrites au patrimoine mondial de l'UNESCO (source : UNESCO – Dossier d'inscription des lagons de Nouvelle-Calédonie)....12
Figure 2 : Présentation de la stratégie d'échantillonnage et de la zone d'étude – (toponymie en jaune : récifs, rouge : passes et vert : îlots) - Positions des stations fixes et des points de prélèvements....13
Figure 3 : Bathymétrie du lagon de Hienghène-Touho (source : Zoneco)....13
Figure 4 : Typologie des récifs coralliens du lagon de Hienghène-Touho (Source : Andréfouët S. et Torres-Pullizza D., 2004. Atlas des Récifs Coralliens de Nouvelle-Calédonie)). 14
Figure 5 : Bathymétrie du LHT et délimitations utilisées pour les calculs de dimensions caractéristiques ...15
Figure 6 : Profils bathymétriques des différentes passes....16
Figure 7 : Bassins versants d'intérêt direct pour le lagon de Hienghène-Touho 18
Figure 8 : Diagramme de Gantt de la campagne 20
Figure 9 : Station océanique utilisée pour les extractions de SST, vagues et marée 21
Figure 10 : Evolution journalière de la température de surface au point 20°30'S – 165°06'E entre décembre 2014 et mars 2016 (courbe noire). Les points noirs et rouges correspondent respectivement à la moyenne du mois et à la moyenne interannuelle (2003 - 2016). 21
Figure 11 : Rose directionnelle des vagues (la légende en couleur indique la hauteur significative des vagues, Hs, en m) au point 20°30'S – 165°06'E....22
Figure 12 : Hauteur significative des vagues (en m) pendant la période d'échantillonnage....23
Figure 13 : Champs de vague modélisés le 01/02/2015 (gauche) et 13/03/2015 (droite) 23
Figure 14 : Amplitudes des 10 harmoniques principales de marée sur le secteur de Hienghène (en m) 24
Figure 15 : Recomposition du signal de marée sur la période du 5 décembre 2014 au 22 décembre 201425
Figure 16 : Recomposition du signal de marée entre le 1er décembre 2014 et le 1er décembre 2015....25
Figure 17 : Trajectoires observées des phénomènes cycloniques sur la saison 2014-2015 sur le bassin Est Australien (Source : Metoffice) 26
Figure 18 : Rose des vents à la station météo de Touho Aérodrome Période Décembre 2014-Mars 2016 – Intensité du vent en nœuds....27
Figure 19 (a. et b.) : Hodographes mensuels de vent à la station de Touho Aérodrome 28
Figures 20 a. et b. : Hyétogramme et courbe de pluie cumulée à la station Touho Aérodrome....29
Figure 21 : Evolution des débits relevés sur les 3 stations limnimétriques de la Ouaième, de la Tiwaka et de la Tipindje (données DAVAR) 29
Figure 22 : Synthèse des observations pour le leg 1 du 2 décembre 2014 au 2 mars 2015 31
Figure 23 : Température et salinité observée sur la radiale S le 03/12/2014....32
Figure 24 : Température et salinité observée sur la radiale T le 04/12/2014....32
Figure 25 : Synthèse des observations pour le leg 2 du 2 mars 2015 au 31 mai 2015....34
Figure 26 : Température et salinité observée sur la radiale S le 03/03/2015....35
Figure 27 : Température et salinité observée sur la radiale T le 05/03/2015....35
Figure 28 : Synthèse des observations pour le leg 3 du 1er juin 2015 au 1er septembre 2015 37
Figure 29 : Température et salinité observée sur la radiale S le 02/06/2015....38
Figure 30 : Température et salinité observée sur la radiale T le 03/06/2015....38
Figure 31 : Synthèse des observations pour le leg 4 du 31 août 2015 au 1er décembre 2015....40
Figure 32 : Température et salinité observée sur la radiale S le 01/09/2015....41
Figure 33 :Température et salinité observée sur la radiale T le 02/09/2015 41
Figure 34 : Synthèse des observations pour le leg 5 du 07 décembre 2015 au 7 mars 2016....43

Figure 35 : Température et salinité observée sur la radiale S le 08/12/2015 44
Figure 36 :Température et salinité observée sur la radiale T le 09/12/2015 44
Figure 37 : Température et salinité observée sur la radiale S le 08/03/2015 45
Figure 38 : Température et salinité observée sur la radiale T le 10/03/2015 45
Figure 39 : Intensité et direction du courant mesuré à la station A01 (passe de Touho) entre le 11 et le 18 janvier 2016. Toutes les mesures réalisées avec les ADCP sont disponibles dans les annexes 10, 11, 12, 13 (respectivement pour ADCP1, ADCP2, ADCP3 et ADCP4). 46
Figure 40: Roses de courant sur la période de début janvier 2016 à début mars 2016 (cf. annexes 3 et 14) 46
Figure 41 : Courants résiduels (filtrés de la marée) moyens sur la colonne d'eau et projetés sur l'axe des passes de Touho (A01), Grande Passe (A03) et Hienghène (A04). Les valeurs positives indiquent des résiduels entrants dans le LHT. Les valeurs négatives des courants résiduels sortants du lagon. 47

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Dimensions caractéristiques des passes 16
Tableau 2 : Caractéristiques des bassins versants de la zone d'étude (classé par ordre décroissant en terme de superficie) 18

Resume

Ce rapport fait partie du projet de recherche PRESENCE (PRessions sur les Ecosystèmes récifaux et lagonaires de Nouvelle-CalédoniE). L'objectif de ce projet est de mieux appréhender le fonctionnement des lagons de Nouvelle-Calédonie à partir d'observations in-situ, de télédétection et de modélisation hydrodynamique. Ce rapport présente les mesures effectuées sur les lagons de Touho à Pouébo situés sur la côte Est de la Province Nord de Nouvelle-Calédonie, secteur sur lequel les connaissances et observations du fonctionnement hydrodynamique étaient assez parcellaires. Les données seront utilisées par la suite pour mieux appréhender la dynamique de ce grand lagon mais également à des fins de calibration et de validation de modèle hydrodynamique.

Remerciements

L'acquisition des données présentées dans ce rapport a été rendue possible grâce à la disponibilité, aux compétences et au professionnalisme de Thierry Baboulène (www.babou-plongee.com). Nos remerciements vont également au Service des milieux et ressources aquatiques de la Province Nord (J.F. Kayara, C. Marty, D. Bodmer) qui nous a accompagné efficacement pour mettre en place ces acquisitions de mesures aussi bien en terme de préparatifs (comités de gestion, autorisations coutumières…) que de soutien sur le terrain. Un grand merci également aux membres de l'association Ka Poraou pour l'aide apportée lors des campagnes. Nous tenons aussi à remercier le SEOH de l'IRD de Nouméa (E. Folcher, B. Bourgeois) pour son aide lors des mouillages d'ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) ainsi que l'Unité de Service Imago de l'IRD (D. Varillon) pour le soutien apporté ainsi que le prêt de matériel. Nos remerciements sont enfin adressés aux comités de gestion et aux coutumiers de Pwêêdi Wiimîâ (Poindimié), Tuo Cèmuhî (Touho), Hyehen (Hienghène) et Pweevo (Pouébo) pour leur implication et les discussions constructives lors de la conception de la stratégie d'observation.

Citation

Ce rapport doit être cité comme suit :

Le Gendre R., Soulard B., Lemonnier H., Laugier T., Hubert M., Desclaux T., Royer F., Le Tesson E., Dumas F., Kayara J.F. (2018). Rapport de mesures dans le lagon de Hienghène -Touho – Province Nord - Nouvelle-Calédonie.

Mots Cles

Mesures, hydrologie, courantologie, hydrodynamique, Hienghène, Hyehen, Pouébo, Pweevo, Modélisation

ACRONYMES

ADCP : Acoustic Doppler Current Profiler - Courantomètres à effet Doppler

CTD : Conductivity Temperature Depth

DAVAR : Direction des Affaires Vétérinaires, Alimentaires et Rurales

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

DTSI : Direction des Technologies et Systèmes d'Information du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie

FES : Finite Element Solution

HER : Hydro-Eco-Régions

IRD : Institut de Recherche et de Développement

JPL : Jet Propulsion Laboratory

LHT : Lagon de Hienghène-Touho

MNT : Modèle Numérique de Terrain

MUR SST : Multi-scale Ultra-high Resolution Sea Surface Temperature - https://mur.jpl.nasa.gov/

ORE : Observatoire de la Ressource en Eau de la DAVAR

PRESENCE : PRessions sur les Ecosystèmes récifaux-lagonaires de Nouvelle-CalédoniE

SEOH : Service d'Exécution des Opérations Hyperbares ou "Service Plongée"

SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

SST : Sea Surface Temperature – température de surface de la mer

WW3 : WAVEWATCH III® Model

1. INTRODUCTION

Ce rapport fait partie du projet de recherche PRESENCE (PRessions sur les Ecosystèmes récifaux-lagonaires de Nouvelle-CalédoniE). L'objectif de ce projet est de mieux appréhender le fonctionnement des lagons de Nouvelle-Calédonie à partir d'observations in-situ, de télédétection et de modélisation hydrodynamique. Ce rapport est centré sur la présentation des mesures effectuées sur les lagons de Touho à Pouébo situés sur la côte Est de la Province Nord de Nouvelle-Calédonie (Figure 1), secteur sur lequel les connaissances et observations du fonctionnement hydrodynamique étaient assez parcellaires. Les données seront utilisées par la suite pour mieux appréhender la dynamique de ce grand lagon mais également à des fins de calibration et de validation de modèle hydrodynamique.

Après une description générale du contexte de la zone d'étude et de la période d'échantillonnage, ce document présente les observations physiques réalisées entre décembre 2014 et mars 2016. Ce travail a été réalisé dans le cadre de la convention particulière "Modélisation des processus côtiers" issue de l'accord-cadre Ifremer, Etat, collectivités de Nouvelle-Calédonie (Gouvernement et provinces). Il est à noter que la stratégie d'échantillonnage s'étant focalisée sur le « lagon de Hienghène-Touho », les mesures réalisées à Pouébo ne seront pas présentées au sein de ce rapport, mais restent disponibles et seront utilisées dans le cadre du projet.

La durée d'acquisition totale d'observation a été fixée à 15 mois afin d'inclure une année hydrologique complète. Six campagnes trimestrielles ont été réalisées avec les objectifs suivants :

- La pose d'instruments (capteurs : température, salinité, pression) ;
- La récupération des données enregistrées par les capteurs déjà en place ;
- Le reconditionnement / remouillage des instruments (capteurs : température, salinité, pression) ;
- L'acquisition de mesures (Conductivity Temperature Depth - CTD - & prélèvements) sur des radiales cross-shore.

Une mission supplémentaire (Janvier 2016) a été conduite en collaboration avec le « service plongée » (ou Service d'Exécution des Opérations Hyperbares – SEOH) de l'IRD de Nouméa afin de procéder au mouillage de quatre courantomètres à effet doppler.

Après une description de la zone d'étude, du contexte météo-océanique de la période et de la stratégie d'échantillonnage, les résultats bruts des mesures sont présentés. Ce rapport et son annexe constituent une compilation exhaustive des observations réalisées et serviront de référence pour les phases d'interprétation, de modélisation, de restitution et de publication à venir.

2. CONTEXTE DE LA ZONE D'ETUDE ET DE LA PERIODE ECHANTILLONNEE

2.1. Description générale de la zone d'étude

2.1.1. Géomorphologie

La zone d'étude se situe sur la côte Nord-Est de la Nouvelle-Calédonie et est intégralement comprise dans la zone côtière Nord-Est, composante du bien en série inscrit depuis 2008 au patrimoine mondial de l'UNESCO sous l'appellation « Lagons de Nouvelle-Calédonie : diversité récifale et écosystèmes associés ».

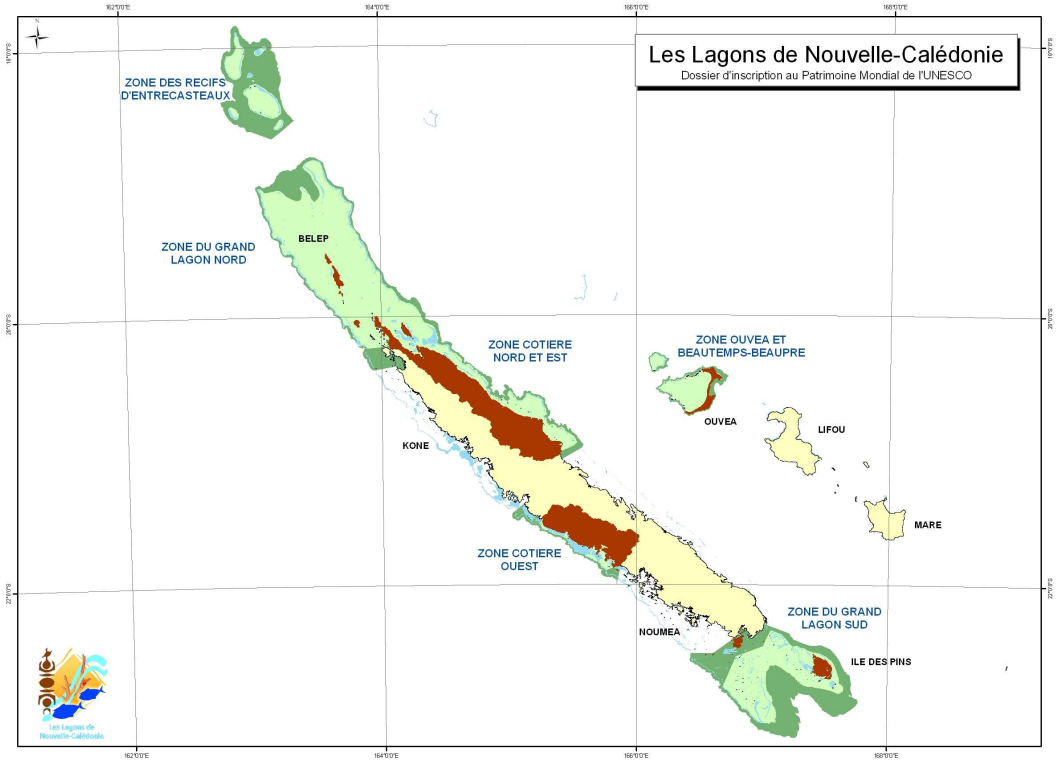


Figure 1 : Carte de la Nouvelle-Calédonie et des zones inscrites au patrimoine mondial de l'UNESCO (source : UNESCO – Dossier d'inscription des lagons de Nouvelle-Calédonie)

Dans le cadre de ce rapport, nous dénommerons « Lagon de Hienghène-Touho » (LHT) la zone délimitée par le trait de côte, les passes de Tiguit et Touho et les différents récifs et passes plus au large. Ce lagon est caractérisé par une alternance de récifs et de plateaux coralliens incluant des îlots et des passes de dimensions et d'orientations variées. Au sens de l'entité définie ci-dessus, on dénombre 8 îlots principaux au sein du LHT : Atit, Ouao, Hiengu, Hienga, Hiengabat, Hienghène, Tiguit et ilot de sable au Nord-Est.

Six passes principales existent sur ce lagon (Figure 2). Quatre passes sont orientées Sud-Est / Nord-Ouest : Grande Passe et les passes de Tiguit, de Hienghène et Touho qui communique avec le secteur de Poindimié. Deux passes adjacentes sont orientées Sud-Ouest / Nord-Est dans le secteur central : les passes de Kaun et de Hiengu. Il existe deux ouvertures « secondaires » ou fausses-passes (caractérisées par des sections d'écoulement moins importantes), la première située entre les récifs Douok et Kaun, et la seconde entre les récifs Doiman et le Grand Récif Mengalia. La passe que nous nommerons passe de Hienghène est située entre l'îlot Hienghène et le récif Douok. Elle est légèrement différente du secteur du même nom des cartes marines SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) qui la définisse entre l'îlot du même nom et le récif Douok.

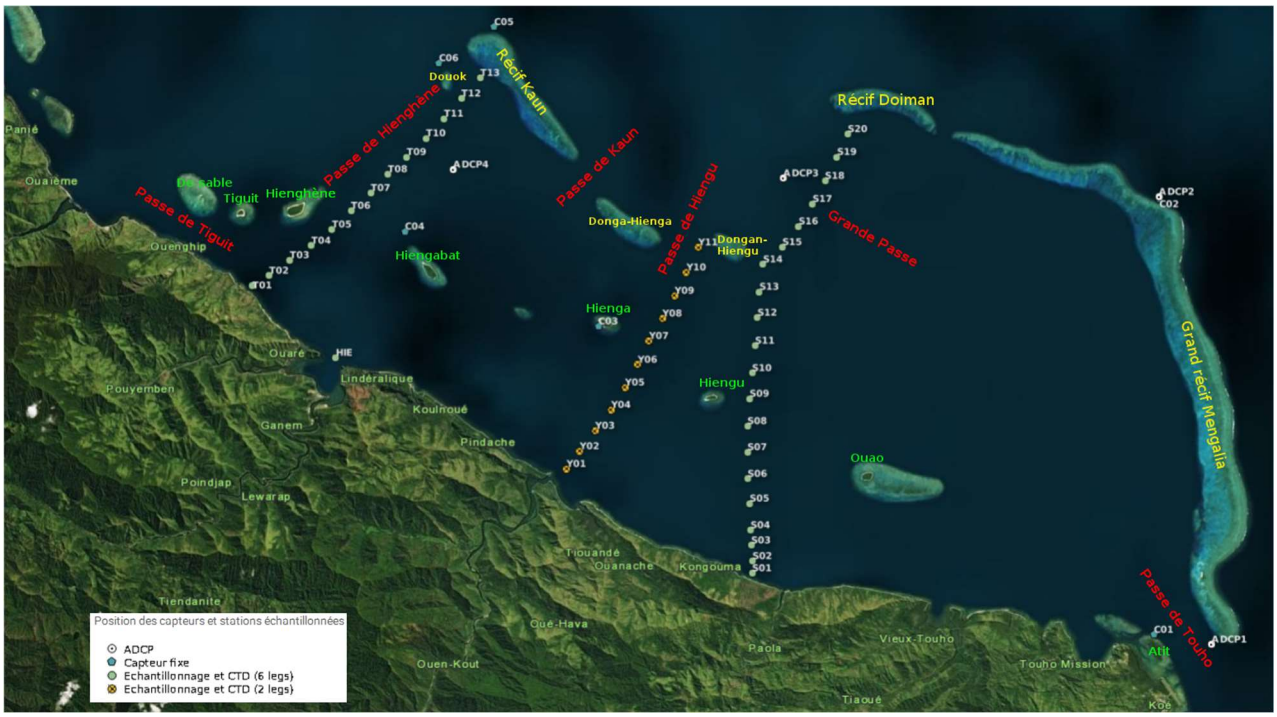


Figure 2 : Présentation de la stratégie d'échantillonnage et de la zone d'étude – (toponymie en jaune : récifs, rouge : passes et vert : îlots) - Positions des stations fixes et des points de prélèvements

La caractéristique bathymétrique la plus frappante du LHT est la présence d'une « cuvette » ou « poche » centrale, présentant des fonds supérieurs à 30m (Figure 3). Cette cuvette est connectée à l'océan par des « canyons » via les passes de Hienghène, Hienghu et Touho. La passe de Hienghène est la plus profonde avec un canyon d'une profondeur comprise entre 50 et 60 m qui se prolonge jusqu'au ras du trait de côte au niveau de la tribu de Lindéralique. La passe de Touho présente une section importante avec des profondeurs similaires dans son secteur central. Son canyon se prolonge jusqu'au Nord de l'îlot Ouao. Au sens de l'entité LHT définie ci-dessus, une seconde poche profonde (> 30m) est visible dans la partie Nord de la Grand Passe. Le secteur d'arrière-récif derrière la moitié sud du Grand Récif Mengalia montre une zone de petits fonds (moins de 10m d'eau).

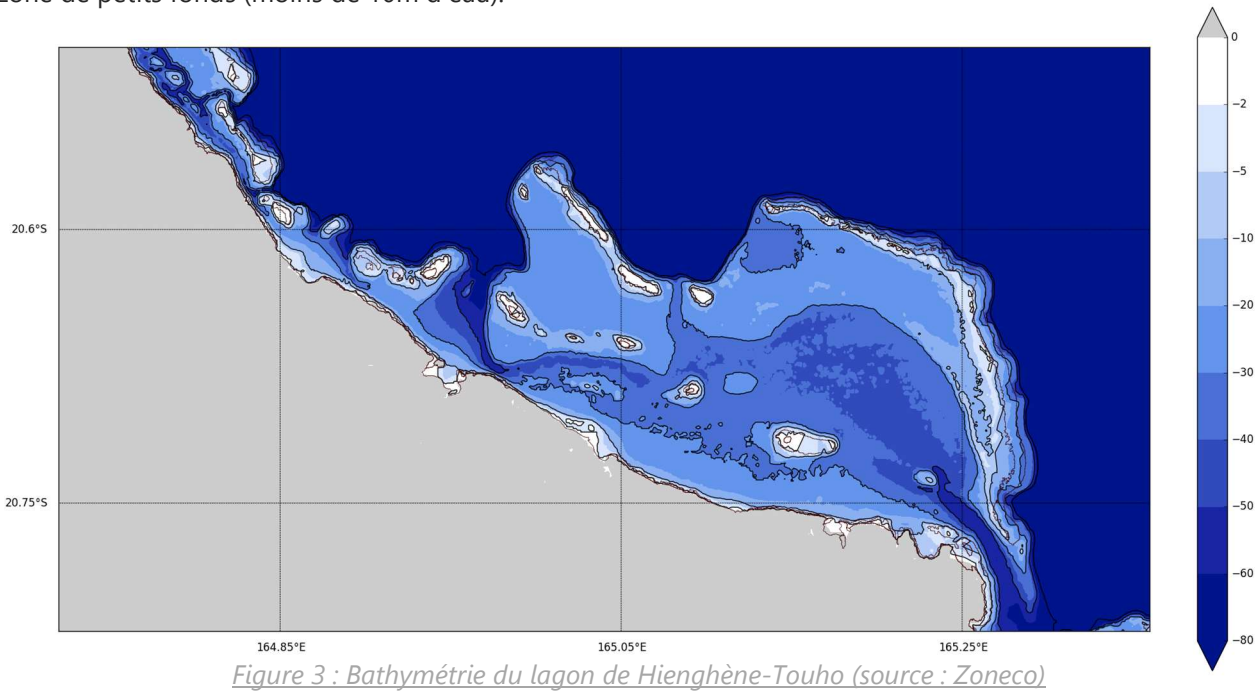


Figure 3 : Bathymétrie du lagon de Hienghène-Touho (source : Zoneco)

La Figure 4 montre la typologie récifale du secteur (Andréfouët et Torres-Pullizza, 2004). On y distingue :

- Une « entité » structurale semi-continue (présence de passes) du Sud du Grand Récif Mengalia jusqu'au récif Douok, caractérisée par un continuum corallien typique des récifs barrières, incluant, de l'océan vers le lagon, une pente externe, un platier récifal et une terrasse lagonaire peu profonde. Sur la Figure 4, ces unités morphologiques sont respectivement identifiées par les numéros 819, 821 et 829.
- Un secteur peu profond dans la partie lagonaire de la moitié Sud du Grand Récif Mengalia composé de deux types de récifs : une grande terrasse lagonaire à champ de construction corallienne et une terrasse lagonaire profonde. Ces unités sont identifiées par les numéro 830 et 833 sur la figure. Il est intéressant de noter que les passes de Hiengu et de Kaun sont classifiées différemment comme respectivement passe et passe peu profonde ou platier récifal ennoyé (références 840 et 842 de la Figure 4).
- Une seconde entité semi-continue entre l'îlot Ouao et l'îlot Hienghabat. Elle forme une bande plus proche de la côte composée d'unités classées comme pente ou terrasse de récif barrière imbriqué (863), platier récifal (859), terrasse interne de récif barrière multiple ou imbriqué à champ de constructions coralliennes (861), récif barrière ennoyé profond (865), de passe (868), et enfin de terre émergée de massif corallien (654). Il est intéressant de noter à ce stade, que dans cette classification récifale, cette bande parsemée d'îlots présente des caractéristiques structurelles finalement assez similaires à un récif barrière (e.g. passes, récif barrière ennoyé profond…).
- Une troisième entité incluant le Récif de Tao présente des similitudes avec l'entité décrite précédemment.
- La présence de platiers récifaux sur la quasi-intégralité du linéaire côtier entre Touho et Hienghène, à l'exception du secteur de Pindache.

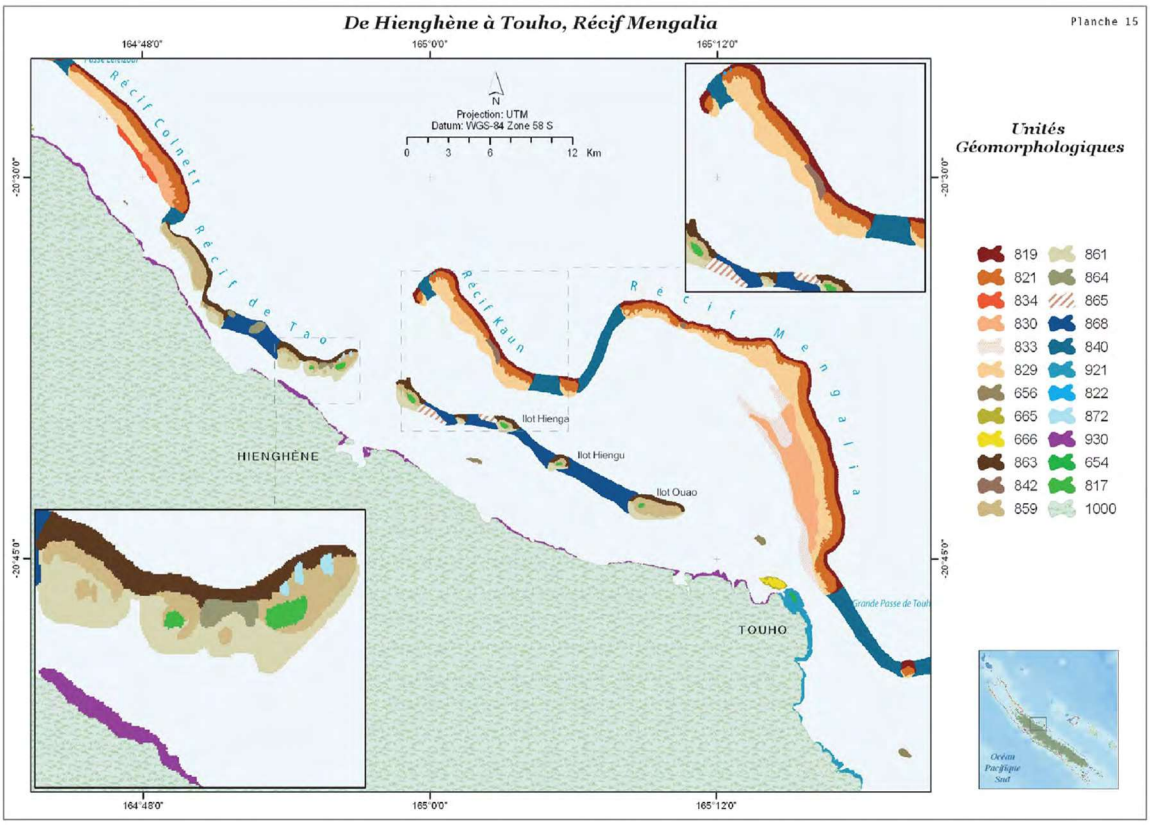


Figure 4 : Typologie des récifs coralliens du lagon de Hienghène-Touho (Source : Andréfouët S. et Torres-Pullizza D., 2004. Atlas des Récifs Coralliens de Nouvelle-Calédonie)).

2.1.2. Dimensions caractéristiques

Le LHT est un vaste lagon d'une largeur de 19 km entre le récif Doiman et la côte et d'une longueur d'environ 44 km entre les passes de Tiguit et Touho. Les dimensions caractéristiques de ce lagon ont été calculées à l'aide du logiciel Arcmap™ de la société ESRI en se basant sur une bathymétrie ré-interpolée à une résolution de 10 m, sur la zone d'étude, à partir de différentes extractions et numérisation de données provenant de :

- Sondes et cartes marines scannées du SHOM ;
- Modèle Numérique de Terrain (MNT) à 25 m produit par la direction des Technologies et Systèmes d'Information du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie dans le cadre du programme Zonéco.

La Figure 5 illustre le produit obtenu avec l'outil « Topo vers Raster » de la boîte à outil Spatial analyst d'Esri. L'outil « Remblais déblais » a ensuite été permis de calculer le volume du lagon. Les sections des passes présentées en pointillés sur la Figure 5 ont été numérisées manuellement sur le fond d'images satellites et aériennes du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie couplé au modèle numérique de terrain interpolé précédemment, puis utilisées dans l'outil « Profil de pile » pour obtenir les diagrammes et attributs de chaque passe présentés dans le Tableau 1.

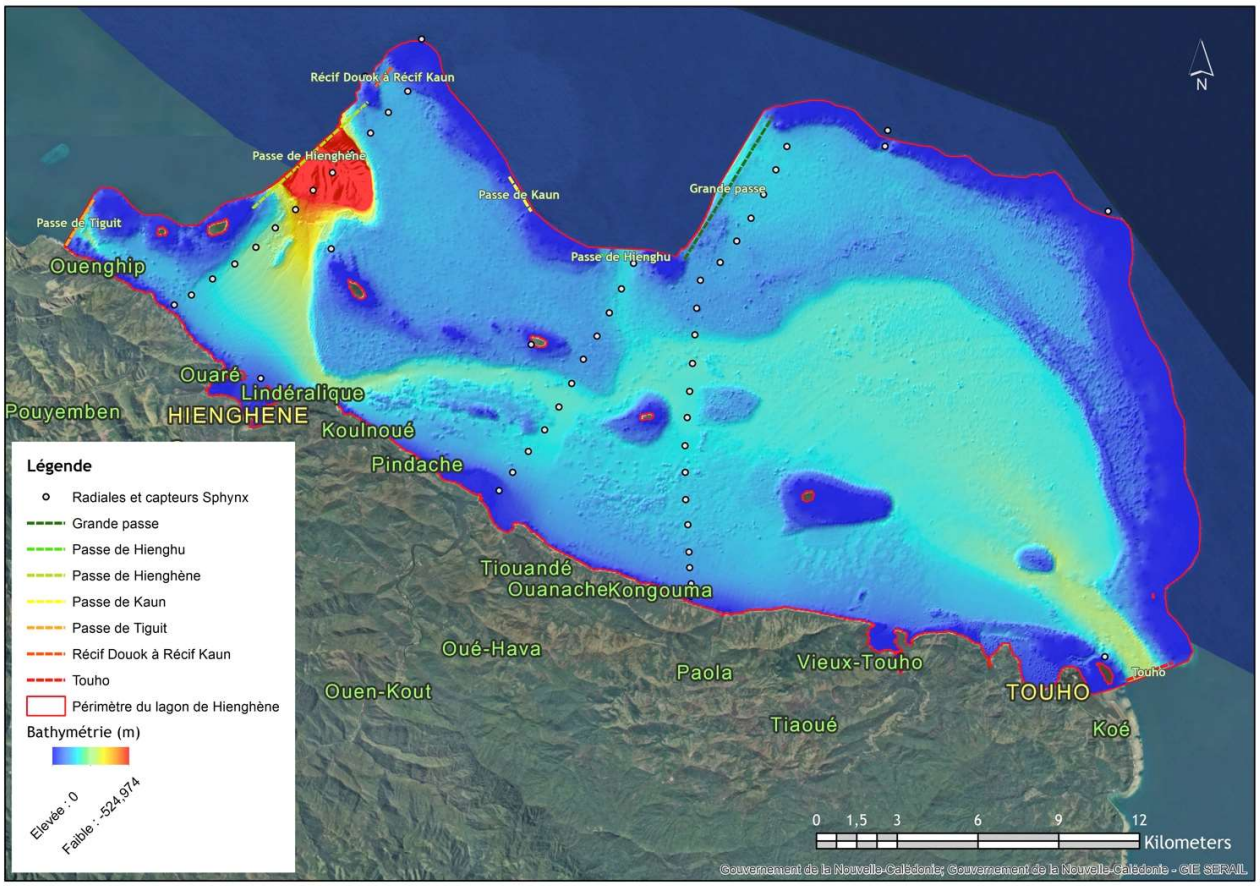


Figure 5 : Bathymétrie du LHT et délimitations utilisées pour les calculs de dimensions caractéristiques

Le LHT, tel que délimité par le trait rouge sur la Figure 5 possède un périmètre de 174 km, pour une profondeur moyenne de 29 m environ. Il s'étend sur 542 km^2, pour un volume total d'eau d'environ 1.58 x 10^{10} m^3. Le Tableau 1 présente les dimensions caractéristiques des passes et la Figure 6 les profils

bathymétriques de ces mêmes passes. Les codes couleur utilisé pour ces profils sont les mêmes que ceux de la figure 4.

Tableau 1 : Dimensions caractéristiques des passes

Nom de la passe	*Largeur approx. (m)*	*Section approx. (m2)*
Passe de Tiguit	2020	53000
Passe de Hienghène	5840	1186000
Passe « Douok-Kaun »	~1000	22170
Passe de Kaun	1530	8440
Passe de Hiengu	1950	43380
Grande Passe	6260	159000
Passe de Touho	1860	81500

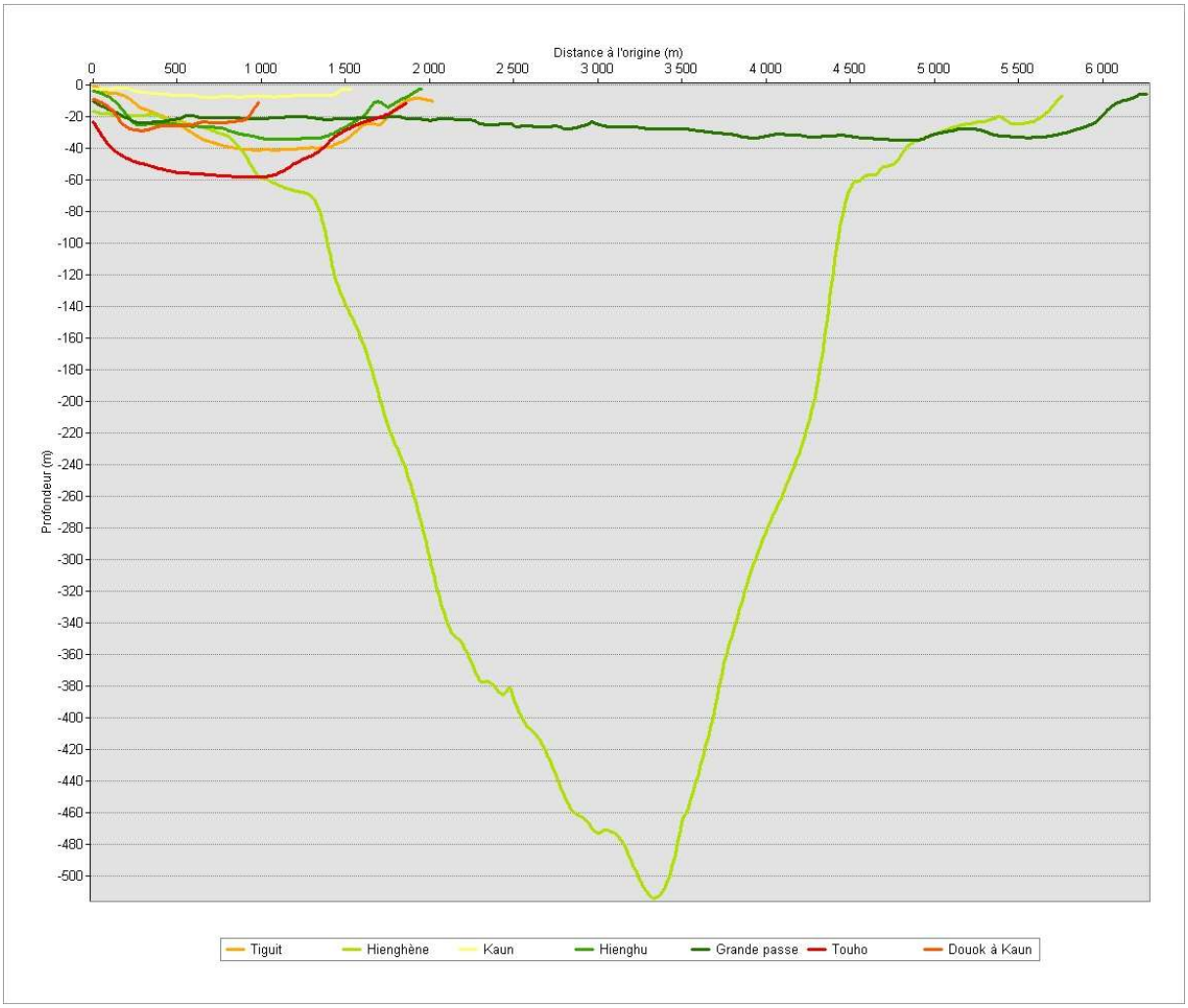


Figure 6 : Profils bathymétriques des différentes passes

Le LHT présente de très larges ouvertures sur l'océan. Sans prendre en compte la fausse passe présente sur le grand récif Mangalia, on dénombre 7 passes de largeurs comprises entre 1 et environ 6,2 km. En termes de largeur d'ouverture et de section d'écoulement, les 2 plus grandes passes sont la Grande Passe et la passe de Hienghène (respectivement 6,2 et 5,8 km de largeur et 159 000 et 1 186 000 m^2 de section). Telle que définie ici, la passe de Hienghène est caractérisée par la présence d'un canyon très profond (> 500 m). Les autres passes montrent des profils bathymétriques plus réguliers et moins profonds. Au regard de la profondeur maximum, la seconde passe est celle de Touho atteignant près de 60 m en son centre et se classant 3^e en terme de section d'écoulement (81 500 m^2).

2.1.3. Bassins versants

Dans le cadre de la DCE (Directive Cadre sur l'Eau) et dans un objectif de meilleure compréhension du fonctionnement des bassins versants et de suivi de l'effet des perturbations sur les écosystèmes aquatiques, une approche basée sur le regroupement des cours d'eau en unités spatiales cohérentes a été développée et appliquée en Europe. Cette méthode prend en compte différents facteurs et caractéristiques des cours d'eau (climatologiques, topographiques, géologiques…). En Nouvelle-Calédonie, ce travail a abouti à un découpage du territoire en 7 Hydro-Eco-Régions de niveau 1 (HER), (Asconit et Biotop, 2011). Le LHT est donc en aval de l'HER nommée F – Massif du Panié.

Les principales caractéristiques de cette HER sont d'être située sur la côte au vent et de présenter une chaîne centrale montagneuse supérieure à 500 m très arrosée et principalement composée de schiste. La description sommaire de cette HER est la suivante: « Massif montagneux aux très fortes pentes également très arrosées. La roche schisteuse imperméable induit un régime torrentiel et une érosion principalement mécanique. » (Asconit et Biotop, 2011).

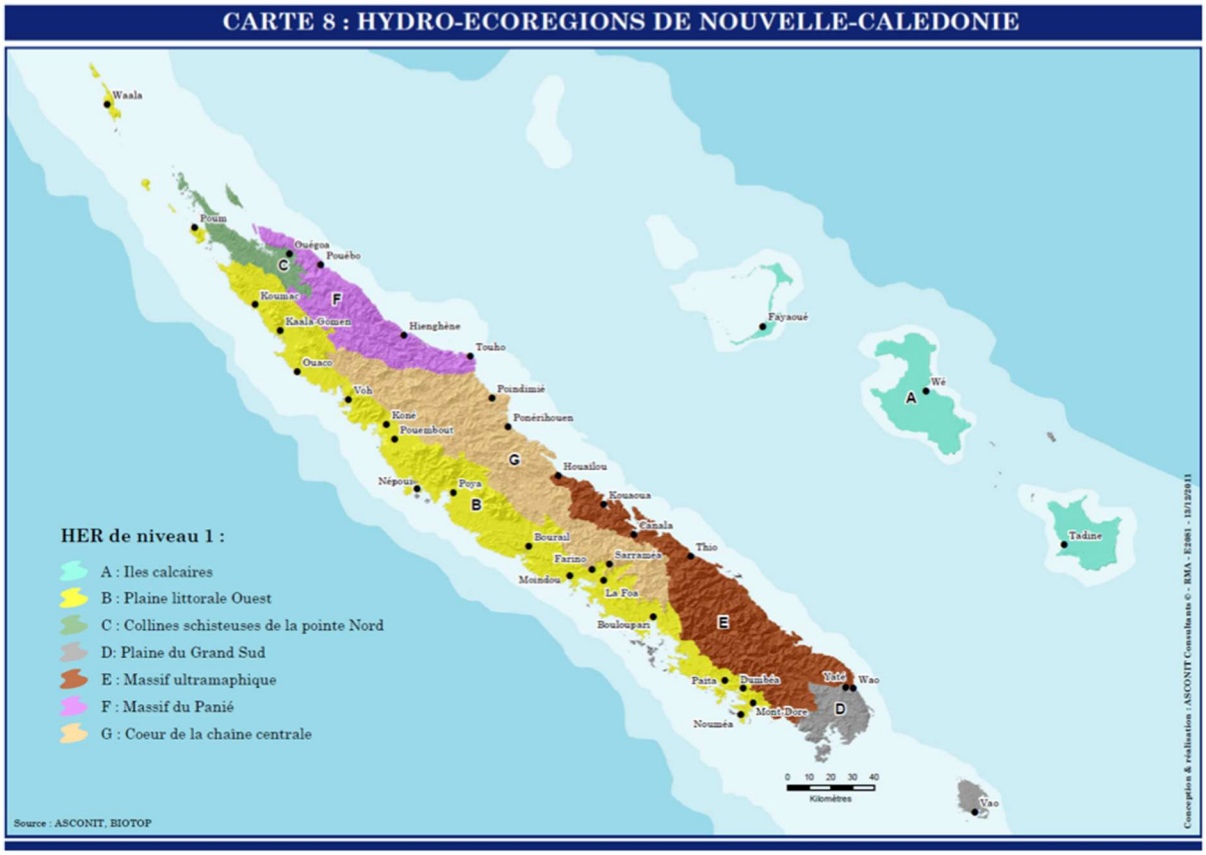


Figure 7 : Hydro-Eco-Régions telles que définies par Asconit et Biotop (2011).

Un travail sur les rivières d'intérêt pour le LHT a été réalisé à l'aide du module Spatial Analyst d'Arcmap™. Le framework global utilisé est disponible dans l'annexe 1. La Figure 7 présente une carte des différents bassins versants de la zone d'étude. Le Tableau 2 décrit leurs principales caractéristiques. Tous les calculs ont été réalisés en considérant l'intégralité des bassins, c'est à dire des lignes de crête jusqu'aux exutoires marins. Ce travail permettra notamment d'estimer des débits pour les rivières importantes non suivies par les limnimètres de la DAVAR.

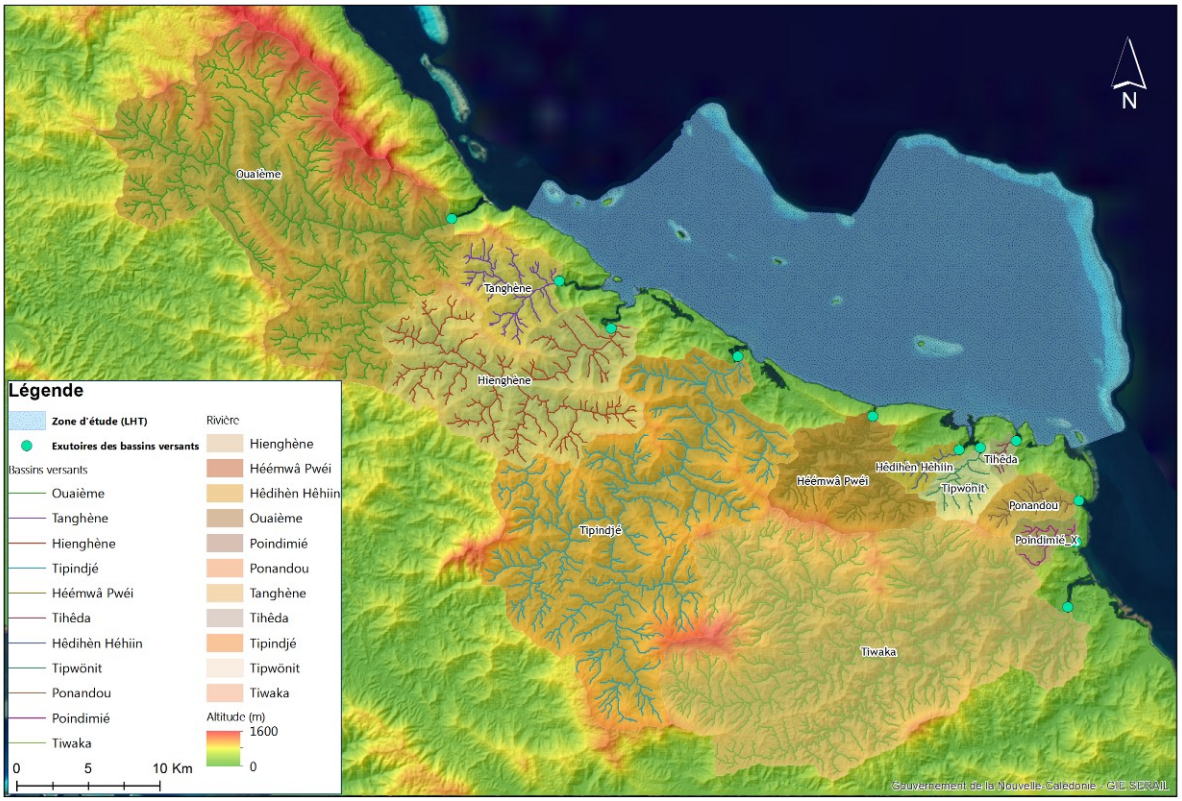


Figure 7 : Bassins versants d'intérêt direct pour le lagon de Hienghène-Touho

Tableau 2 : Caractéristiques des bassins versants de la zone d'étude (classé par ordre décroissant en terme de superficie).

Bassin versant	*Longueur du flux (km)*	*Surface (km^2)*	*Périmètre*	*Compacité*	*Altitude max.*	*Altitude moyenne*
Tiwaka	52	378,7	94,9	1,38	1378	339
Ouaième	34	325,9	99,0	1,55	1622	530
Tipindjé	43	313,7	99,8	1,59	1353	362
Hienghène	24	146,4	65,3	1,52	909	320
Héémwâ Pwéi	15	63,1	37,9	1,35	1040	325
Tanghène	11	43,2	28,7	1,23	966	331

Bassin versant	*Longueur du flux (km)*	*Surface (km2)*	*Périmètre*	*Compacité*	*Altitude max.*	*Altitude moyenne*
Ponandou	9	18,9	19,6	1,27	814	272
Tipwönit	8	18,4	19,3	1,27	788	221
Poindimié	7	11,6	15,8	1,31	637	249
Hêdihèn Hêhiin	7	10,5	15,8	1,38	388	117
Tihêda	5	5,4	10,2	1,23	614	183

L'indice de compacité de Gravelius est définit comme le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface ($K_c = \frac{P}{\sqrt{(\pi * A)}}$), où P représente le périmètre et A l'aire du bassin versant (respectivement en km et km^2). Cet indice est donc supérieur à 1 et d'autant plus proche de cette valeur que le bassin a une forme compacte/circulaire.

Trois bassins versants principaux se distinguent par leur dimension :

1. La Tiwaka, au sud de la zone d'étude ;
2. La Ouaième, au nord ;
3. La Tipindjé, dont l'exutoire marin se situe au centre du lagon.

Ces trois bassins sont suivis grâce à des limnimètres installés par le Service de l'Eau de la DAVAR (Direction des Affaires Vétérinaires, Alimentaires et Rurales).

La Hienghène est également un bassin assez important avec une surface de 146 km^2. Les autres bassins versants sont de tailles plus modestes (< 63 km^2). La Ouaième, s'écoulant le long du massif du Panié, présente des altitudes moyennes et maximales les plus importantes. La Tiwaka et la Tipindjé ont des dimensions et altitudes assez similaires (environ 1 350 m d'altitude max et 350 m d'altitude moyenne). Les indices de compacité calculés sont tous dans les mêmes gammes de valeurs, à l'exception des bassins de la Ouaième et de la Tipindjé qui présentent des indices plus élevés donc des formes un peu plus allongées que les autres bassins.

2.2. Stratégie d'échantillonnage

Cinq legs d'environ 3 mois et 6 missions de relève/repose d'instruments ont été réalisés entre décembre 2014 et mars 2016. La stratégie d'échantillonnage a permis de couvrir 2 saisons des pluies. Des instruments fixes pour des mesures en continu ont été placés à l'intérieur et à l'extérieur du lagon (Figure 2), à savoir :

- 3 capteurs de température installés aux stations C01, C04 et C06 ;
- 2 capteurs température/pression aux stations C02 et C05 ;
- 1 capteur température/salinité sur l'îlot Hienga à la station C03.

Une mission supplémentaire a été réalisée (avec l'aide du SEOH de l'IRD) pour le mouillage de 4 ADCP (courantomètres à effet Doppler). L'acquisition des données de courant a duré 3 mois de janvier 2016 à mars 2016.

- 4 ADCP aux stations ADCP1, ADCP2, ADCP3 et ADCP4

Chaque mission a fait l'objet de radiales CTD cross-shore (stations S01 à S20, T01 à T13 et Y01 à Y11). Chacune de ces radiales a également fait l'objet de prélèvements pour mesurer plusieurs paramètres hydrobiologiques (Chlorophylle a, Matières en suspension - MES, diversité cytométrique). L'annexe 2 présente les instruments utilisés pour cet échantillonnage, l'annexe 3 les positions et caractéristiques des stations échantillonnées.

Figure 8 : Diagramme de Gantt de la campagne

La radiale Y a été suivie lors des 2 premières missions. Les données ne sont pas présentées dans le cadre de ce rapport mais sont disponibles sur demande.

Les informations et métadonnées concernant la stratégie d'échantillonnage sont disponibles sur le site cartographique Sextant à l'adresse suivante : http://sextant.ifremer.fr/record/eb8d33a4-786e-4d82-8fab-5f96882be2d0/.

Les données brutes (au format Netcdf) sont quant à elles bancarisées sur le portail Seanoe : http://www.seanoe.org/data/00428/54005/

2.3. Contexte hydro-climatique

2.3.1. Contexte océanique

Toutes les données utilisées dans cette partie ont été extraites de différentes sources de données en un point océanique (Figure 9) situé à égale distance (~ 10 km) des parties ouest des récifs Kaun et Doïman (20°30'S – 165°06'E).

Figure 9 : Station océanique utilisée pour les extractions de SST, vagues et marée

Température de surface (SST)

Afin de replacer la période d'acquisition de données dans son contexte interannuel, les données MUR SST (Multi-scale Ultra-high Resolution Sea Surface Temperature - https://mur.jpl.nasa.gov/) du JPL (Jet Propulsion Laboratory) ont été utilisées. La Figure 10 retrace l'évolution de la température ainsi que la moyenne mensuelle et la moyenne mensuelle interannuelle sur la période 2003-2016. L'annexe 4 présente les anomalies mensuelles de la température de surface (SST) sur toute la période d'étude.

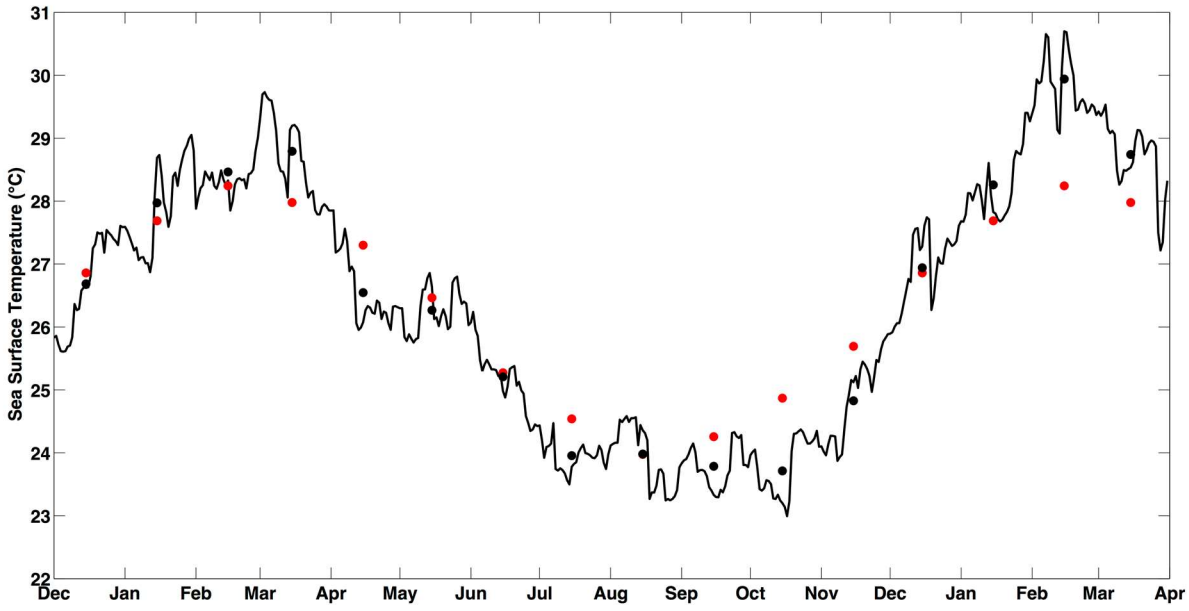


Figure 10 : Evolution journalière de la température de surface au point 20°30'S – 165°06'E entre décembre 2014 et mars 2016 (courbe noire). Les points noirs et rouges correspondent respectivement à la moyenne du mois et à la moyenne interannuelle (2003 - 2016).

Le contexte thermique océanique sur la période d'observation peut être décrit comme suit : les 3 premiers mois - décembre 2014 à février 2015 - ont été assez proches des valeurs moyennes. Une anomalie positive (~1°C) a été observée au mois de mars 2015, suivie par une forte chute des températures début avril (anomalie négative ~1°C en avril 2015). Mai et Juin 2015 ont présenté des SST proches des moyennes interannuelles. Il s'en est suivi une période, de juillet 2015 à novembre 2015 pendant laquelle les températures ont été plus faibles que la normale saisonnière. Enfin, les mois de janvier à mars 2016 ont présenté des anomalies très positives, culminant au mois de février à + 2°C par rapport à la normale.

Cette période a engendré en Nouvelle-Calédonie un épisode de blanchissement massif des récifs coralliens (https://nouvelle-caledonie.ird.fr/toute-l-actualite/actualites/les-recifs-de-nouvelle-caledonie-menaces-par-un-episode-de-blanchissement-massif). Les cartes d'anomalie présentées en annexe 4 montrent la même tendance que celle décrite précédemment. On peut par ailleurs noter que d'un point de vue spatial, la zone étant relativement petite, les anomalies mensuelles sont restées plutôt homogènes sur le secteur d'étude. Pour avoir une vision plus synoptique du contexte, les anomalies mensuelles de SST sont générées depuis janvier 2014, mises à jour mensuellement et diffusée sur le site internet de l'unité LEAD (http://nouvelle-caledonie.ifremer.fr) dans la rubrique « Données ».

Etats de mer

Pour décrire le contexte en terme de vagues, une configuration du modèle WAVEWATCH-III® (WW3) (https://marc.ifremer.fr/comment_ca_marche/modeles_de_vagues) sur la Nouvelle-Calédonie et le Vanuatu a été utilisée (Rubrique « Données » du site nouvelle-caledonie.ifremer.fr). Cette maquette à environ 5 km de résolution est forcée par les vents ECMWF (http://wwz.ifremer.fr/iowaga/). La même station océanique que pour la SST a été extraite du modèle WW3 sur la période de mesures (décembre 2014 – mars 2016). La rose en Figure 11 présente le pourcentage d'occurrence des vagues en fonction de leur hauteur significative (Hs) et de leur provenance (direction).

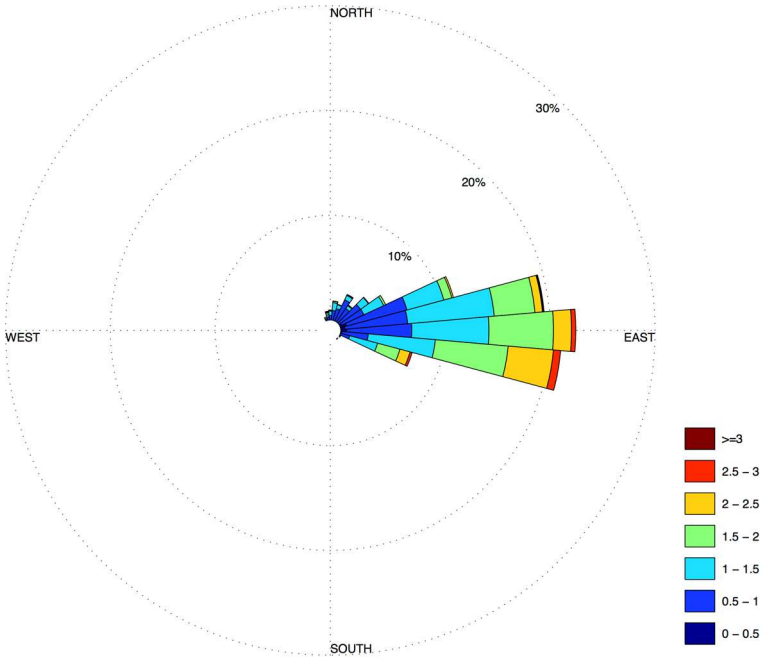


Figure 11 : Rose directionnelle des vagues (la légende en couleur indique la hauteur significative des vagues, Hs, en m) au point 20°30'S – 165°06'E

D'après ces résultats modélisés, la direction privilégiée des vagues se situe autour du secteur Est, la majeure partie des vagues (plus de 60%) provenant du secteur compris entre 75° et 105°. Peu d'évènements ont atteint une hauteur significative supérieure à 3 m. La Figure 12 ci-après présente la série temporelle de hauteur significative (Hs). On peut y voir une succession de pics atteignant des hauteurs de vagues comprises entre 2 m et 2.5 m et de périodes plus calmes (Hs ~0.5m). Deux évènements importants ressortent particulièrement début février et mi-mars avec des Hs supérieurs à 3m. Enfin une période prolongée d'accalmie apparaît en fin de période d'observations entre début janvier et mi-février 2016.

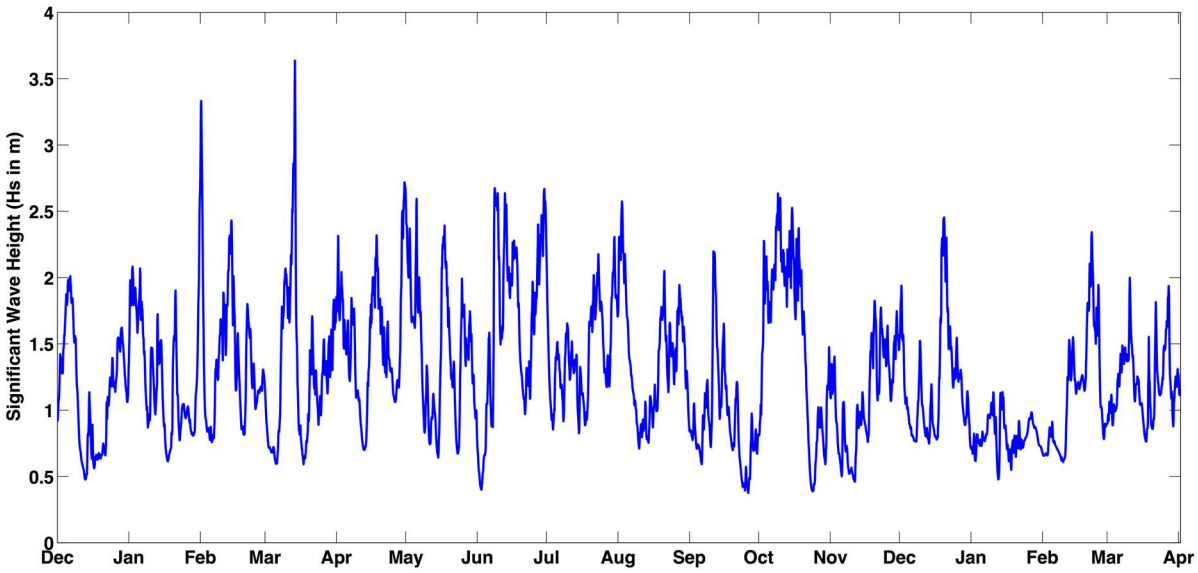


Figure 12 : Hauteur significative des vagues (en m) pendant la période d'échantillonnage

La Figure 13 présente deux instantanés du champ de vagues, modélisés pendant les deux évènements les plus énergétiques, début février et mi-mars. Ces évènements correspondent respectivement aux passages des cyclones OLA et PAM (cf. Figure 17). Sur la zone de Hienghène, OLA a engendré des vagues en provenance du secteur Nord tandis que PAM a quant à lui généré des états de mer venant principalement du secteur Est-Nord-Est.

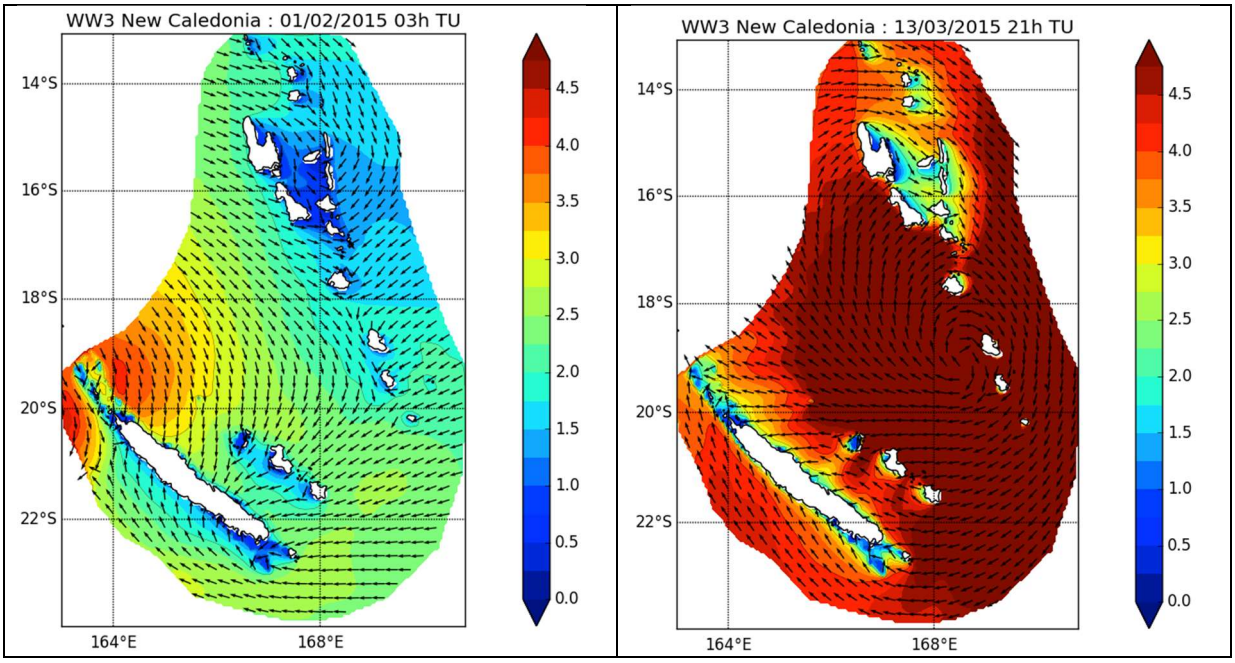


Figure 13 : Champs de vague modélisés le 01/02/2015 (gauche) et 13/03/2015 (droite)

Marées

La version 2012 du modèle de marée global FES (Finite Element Solution) a été utilisée pour extraire les harmoniques principales au point utilisé pour la description du contexte océanique. Plus de précisions sur le modèle FES2012 sont disponibles à l'adresse suivante : www.aviso.altimetry.fr

L'onde de marée peut être décomposée en une série d'harmoniques regroupées selon leurs périodes (semi-diurne, diurne, bi-mensuelle…etc…). Le modèle FES2012 fournit, à l'échelle globale, les amplitudes et phases des 32 harmoniques principales. La Figure 14 présente l'amplitude des 10 ondes principales extraites à la position du point océanique. Sur le total des 32 harmoniques de FES, ces 10 ondes représentent plus de 92% du signal de marée en amplitude. L'onde principale sur notre secteur d'intérêt est l'onde lunaire semi-diurne M2 avec une amplitude d'un peu plus de 33 cm. Cette onde M2 est provoquée par la résultante de l'attraction gravitationnelle de la Lune sur la Terre et de la force centrifuge. On peut noter que seules les 6 premières harmoniques (M2, K1, S2, O1, N2, P1) présentent des amplitudes supérieures à 5 cm (respectivement 33 cm, 16,8 cm, 9 cm, 8,6 cm, 7,3 cm et 5,3 cm). En annexe 7 sont présentées les cartes d'amplitude et de phase des 6 harmoniques principales autour de la Nouvelle-Calédonie.

Le facteur de forme F=(O1+K1)/(M2+S2), rapport des amplitudes des 2 ondes diurnes principales sur les 2 ondes semi-diurnes principales, a été introduit par Wiegel en 1964 pour classifier les types de marée. Pour un ratio F < 0.25, la marée est de type semi-diurne, pour 0.25 < F < 1.5, la marée est de type mixte mais principalement semi-diurne, pour 1.5 < F < 3 la marée est mixte mais principalement diurne, enfin pour F > 3 la marée est de type diurne.

Pour le point considéré, nous obtenons un facteur F = 0,6014 ce qui classe les marées dans ce secteur comme mixtes principalement semi-diurnes.

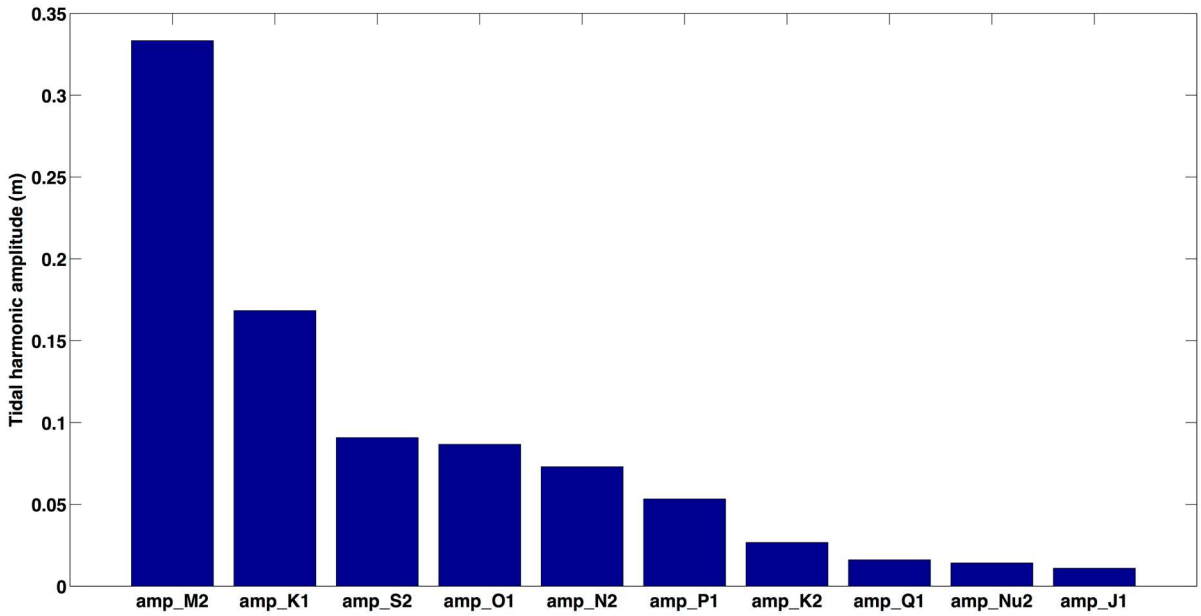


Figure 14 : Amplitudes des 10 harmoniques principales de marée sur le secteur de Hienghène (en m)

Une recomposition du signal de marée a été réalisée à partir des 26 premières harmoniques issues de FES2012. La Figure 15 présente le signal obtenu sur un cycle vives-eaux mortes-eaux sur la période de décembre 2014. La première caractéristique remarquable est la forte inégalité diurne présente en matière de marnage (différence entre les niveaux d'une pleine mer et d'une basse mer consécutives). On peut noter l'alternance de « petites » et de « grandes » marées. De plus, concernant la grande marée journalière, l'amplitude de la pleine mer est moins importante (eg. Environ 0,5m pour le 5 Décembre) que celle de la basse mer (-0,7 m le même jour). Pour la petite marée journalière, c'est exactement l'inverse qui

se produit. Ce phénomène est surtout visible sur les périodes de vives-eaux. En mortes-eaux, l'évolution du niveau est plus centrée sur 0 (cf. 13 décembre).

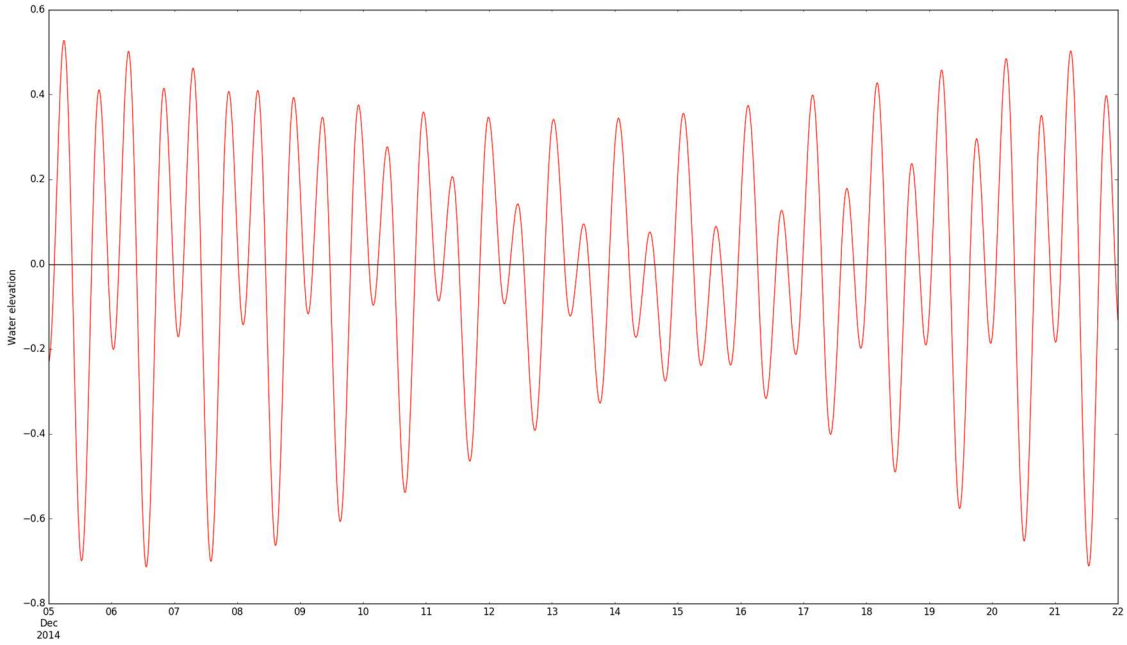


Figure 15 : Recomposition du signal de marée sur la période du 5 décembre 2014 au 22 décembre 2014

La Figure 16 retrace l'évolution prédite du niveau sur une période d'une année entre le 1er décembre 2014 et le 1er décembre 2015. Les « grandes » marées journalières sont visibles sur la courbe en rouge clair et les « petites » marées journalières en rouge foncé. Lors des marées d'équinoxe (20 mars et 22 septembre 2015), l'inégalité diurne disparaît et les 2 marées journalières sont quasiment identiques. Après les marées de solstice (21 décembre 2014 et 21 juin 2015), en vives-eaux, les 2 marées hautes journalières ont quasiment la même amplitude alors que la différence d'amplitude entre les 2 marées basses consécutives est maximale (en décembre 2014, environ -0,2m pour la petite marée basse et -0,7m pour la grande marée basse).

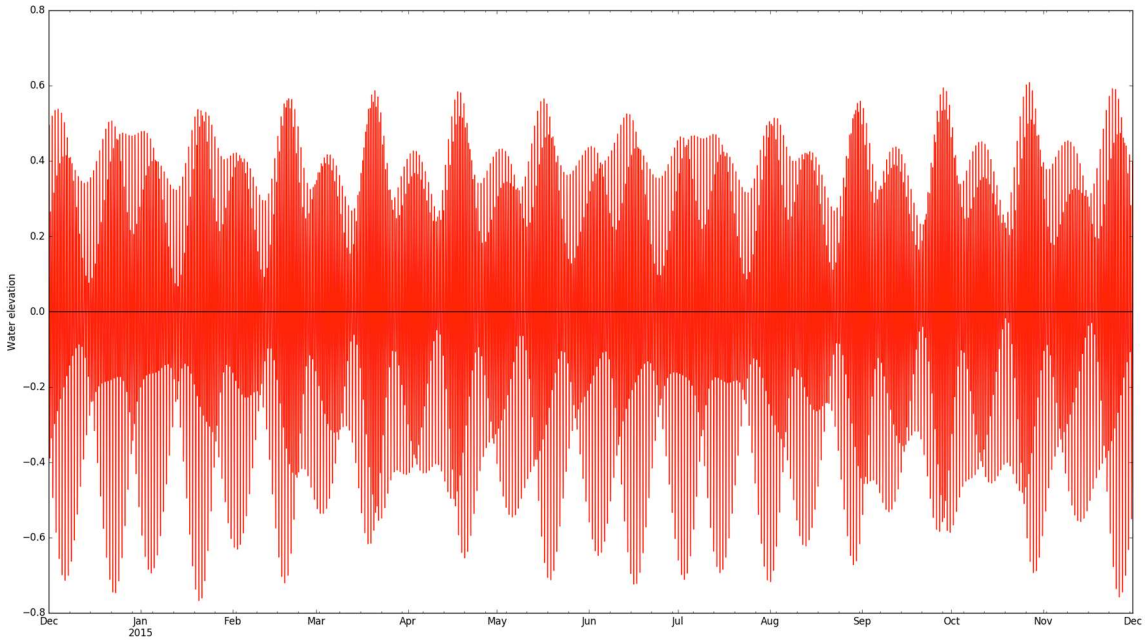


Figure 16 : Recomposition du signal de marée entre le 1er décembre 2014 et le 1er décembre 2015

2.3.2. Contexte atmosphérique

Phénomènes cycloniques

L'été 2014-2015 a été caractérisé par 3 phénomènes principaux concernant la Nouvelle-Calédonie (Figure 17) :

- Le cyclone OLA formé fin janvier 2015 au Nord-Ouest de la Grande Terre, passé à l'Ouest du territoire et ayant atteint un classement en catégorie 3 le 1e Février ;
- Le très important cyclone PAM, formé début Mars au nord du Vanuatu, passé à l'Est de la Grande Terre, et ayant atteint la catégorie 5 le 12 Mars ;
- La dépression tropicale SOLO en avril qui est passée dans le chenal des Loyautés.

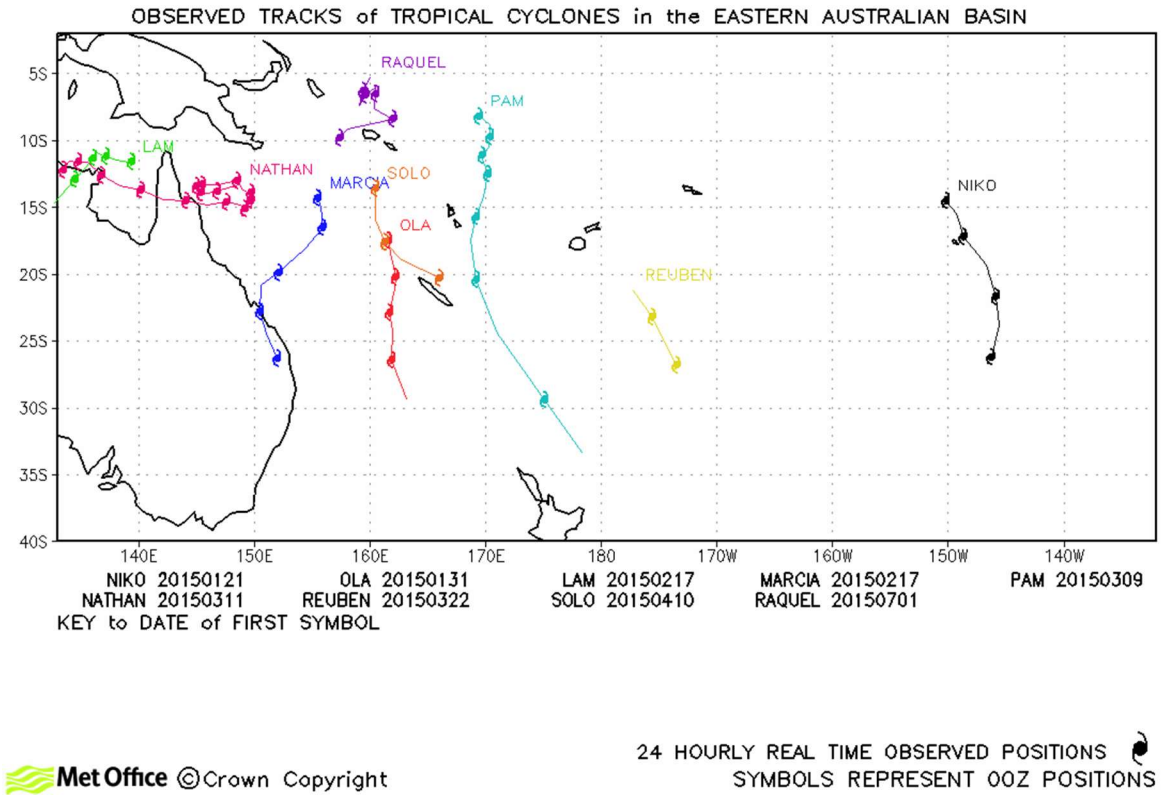


Figure 17 : Trajectoires observées des phénomènes cycloniques sur la saison 2014-2015 sur le bassin Est Australien (Source : Metoffice)

L'annexe 5 présente la même carte de trajectoires cycloniques pour la saison 2015-2016. Sur notre période d'observations, qui s'est achevée début Mars 2016, la Nouvelle-Calédonie (et la zone de Hienghène) a été moins concernée.

Vents

Les données horaires (intensité et direction du vent, précipitations, température sous abri) de la station Météo France de Touho Aérodrome ont été récupérées pour regarder les conditions atmosphériques. La Figure 18 présente une rose des vents sur la période d'échantillonnage. Elle montre une prédominance des vents forts de secteur Est-Sud-Est (alizés) caractéristique de la région (~50% des occurrences). Des vents plus modérés en provenance du Sud-Sud Est sont également visibles assez fréquemment sur cette rose.

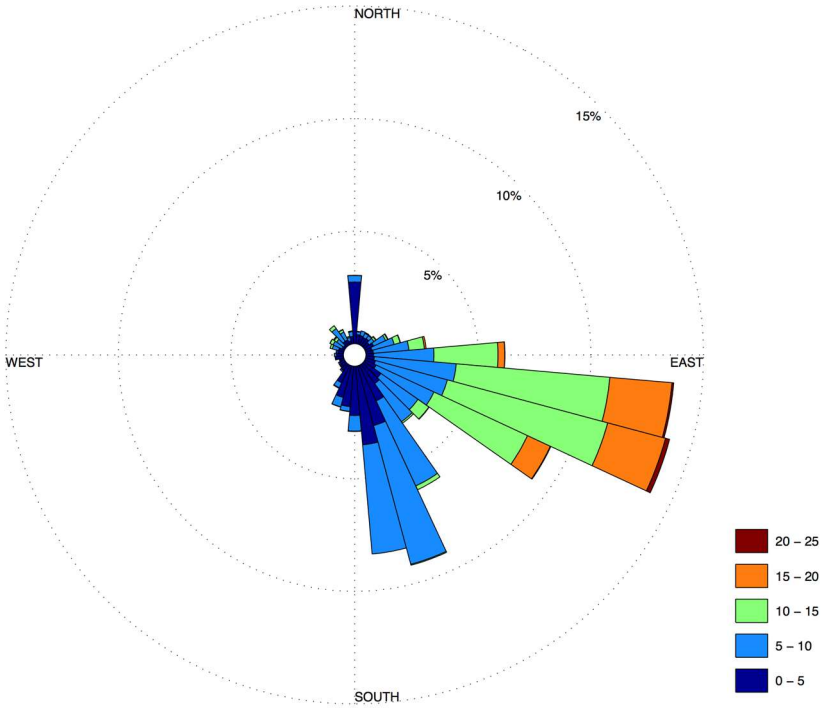


Figure 18 : Rose des vents à la station météo de Touho Aérodrome Période Décembre 2014-Mars 2016 – Intensité du vent en nœuds.

Afin d'obtenir une vision mensuelle plus détaillée de l'orientation et de l'intensité des vents mesurées, les Figure 19 a. et b. présentent les hodographes mensuels de vent. Ces graphiques illustrent bien la prédominance des alizés, le transport calculé étant dirigé principalement vers le Nord-Ouest. Sur la Figure 19 a., trois séquences présentant des vents de secteurs Nord-Nord-Ouest sont observables à la mi-décembre 2014, mi-janvier 2015 et début février 2015 (cyclone OLA). Concernant l'intensité du vent, comme pour les vagues, les mois de janvier et février 2016 se sont distinguées par des vents beaucoup moins intenses que les autres mois. Par ailleurs, ces hodographes exhibent souvent un aspect « crénelé », spécifiquement pendant les périodes d'alizés. Dans l'annexe 6, un focus réalisé sur 3 jours fin septembre 2015 met en évidence des vents d'alizés pendant la journée et des vents moins soutenus et de secteur Sud pendant la nuit.

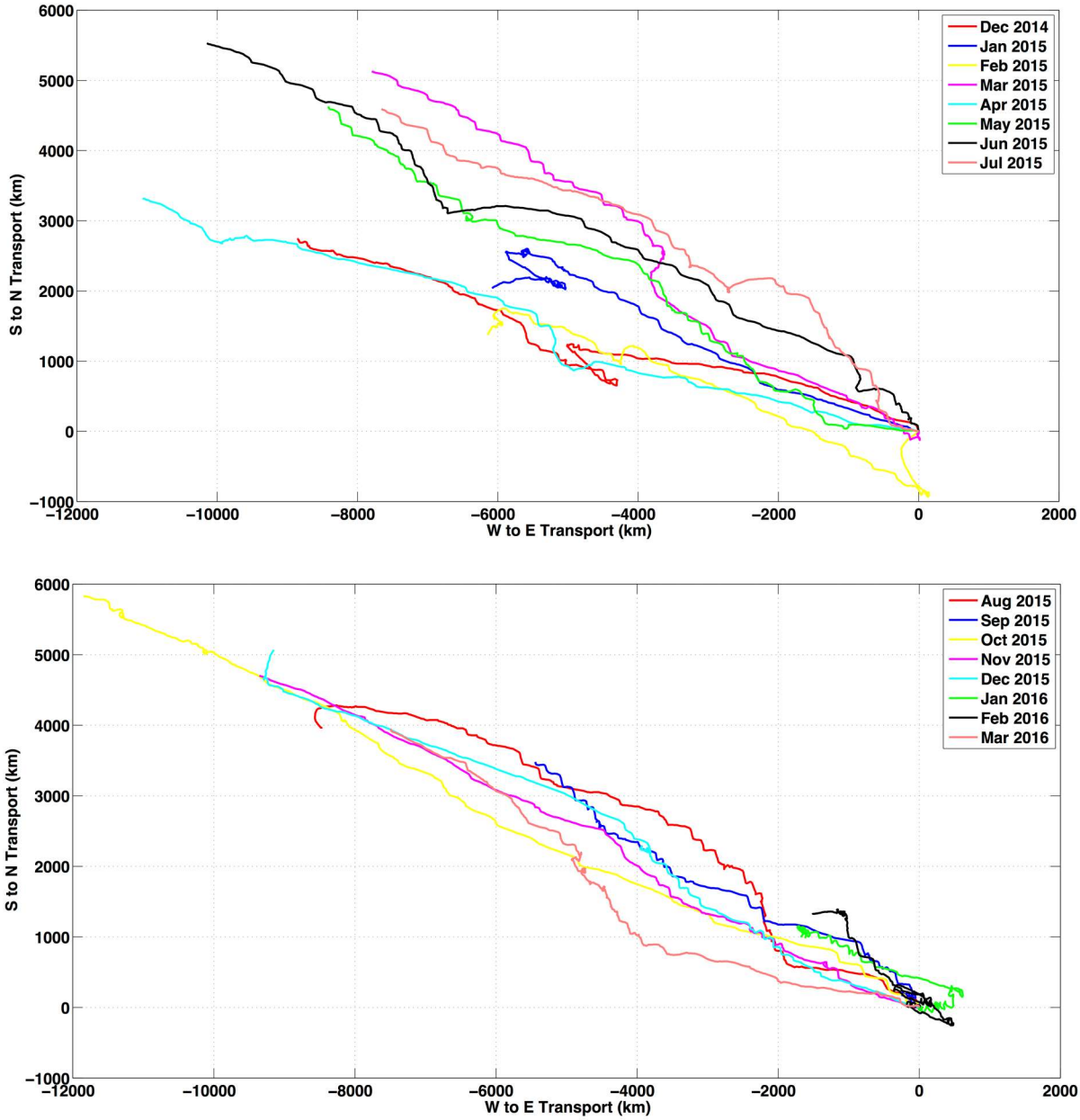
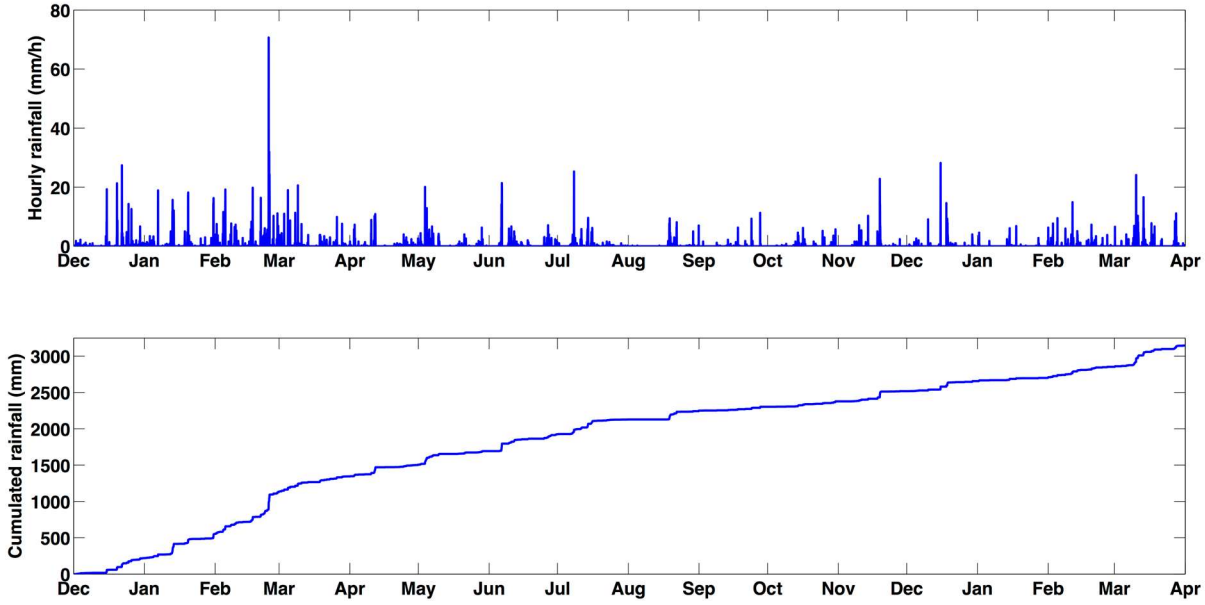


Figure 19 (a. et b.) : Hodographes mensuels de vent à la station de Touho Aérodrome

Précipitations

Les Figures 20 a. et b. présentent le hyétogramme et la courbe de précipitations cumulées sur la période d'observation. Les données ne montrent pas de longue période sans précipitation exception faite d'une séquence sèche de plus d'un mois à partir de la mi-juillet 2015. Sur la période de 16 mois d'observations, le cumul de pluies enregistré à la station de Touho a atteint 3 150 mm, dont la moitié (cf. Figures 20 b.) s'est réalisée sur les 4 à 5 premiers mois. Le mois de Février 2015 a été le plus pluvieux, totalisant à lui seul plus de 500 mm avec un événement mesuré à plus de 70 mm/h.



Figures 20 a. et b. : Hyétogramme et courbe de pluie cumulée à la station Touho Aérodrome

2.3.3. Apports terrigènes

Les débits de trois rivières ont été fournis au pas de temps horaire par le service ORE (Observatoire de la Ressource en Eau de la DAVAR). Cela concerne les rivières de la Ouaième, Tiwaka et Tipindje. La Figure 21 montre les débits mesurés aux stations limnimétriques de la DAVAR. Les crues les plus importantes sont observées sur la Ouaième. Comme pour les précipitations, le mois de février ressort clairement avec une période prolongée de débits importants. On peut noter aussi de fortes crues observées sur la Ouaième (en avril).

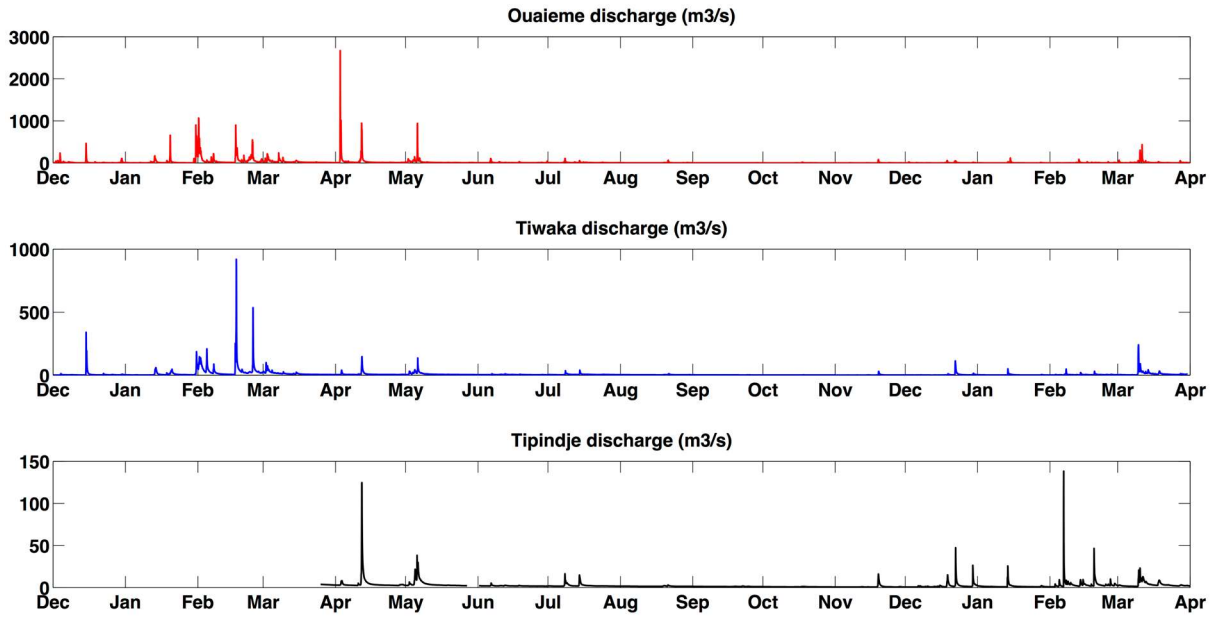


Figure 21 : Evolution des débits relevés sur les 3 stations limnimétriques de la Ouaième, de la Tiwaka et de la Tipindje (données DAVAR)

3. PRESENTATION DES MESURES ACQUISES

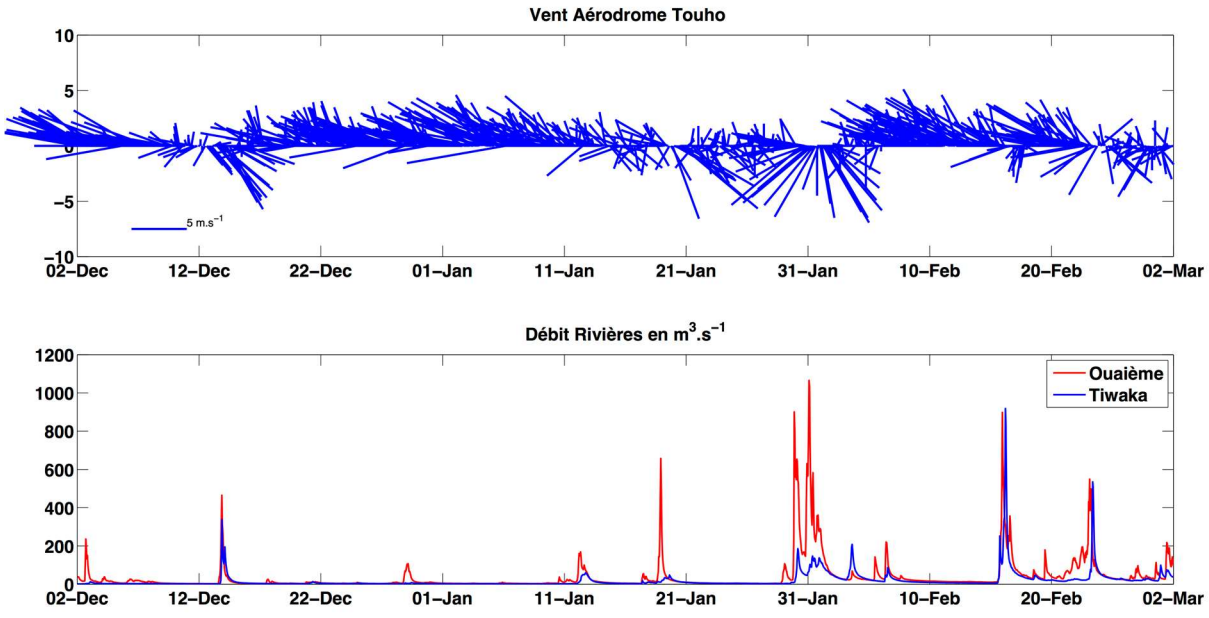
Les mesures acquises au cours de l'échantillonnage sont présentées sous forme de fiches par legs de 3 mois, soit un total de 5 fiches. Pour chaque leg, on retrouvera (selon disponibilité) les informations suivantes :

- Vent mesuré à la station de Touho Aérodrome (station Météo-France) ;
- Débits des 3 rivières Ouaième, Tipindje et Tiwaka ;
- Salinité mesurée en C03 à l'îlôt Hienga ;
- Température sur nos 6 capteurs ;
- Vagues incidentes aux points C02 et C05 ;
- Surcotes et décotes aux points C02 et C05 ;
- Radiales CTD de début de leg pour les variables température, salinité, turbidité et fluorescence.

Le dernier leg ayant fait l'objet d'acquisitions supplémentaires, celles-ci sont présentées. Les données acquises par les 4 ADCP sont donc ajoutées ainsi que les données réalisées lors des radiales CTD de la dernière mission.

Toutes les données sont présentées en heure TU.

3.1. Leg 1 : du 02/12/2014 au 02/03/2015



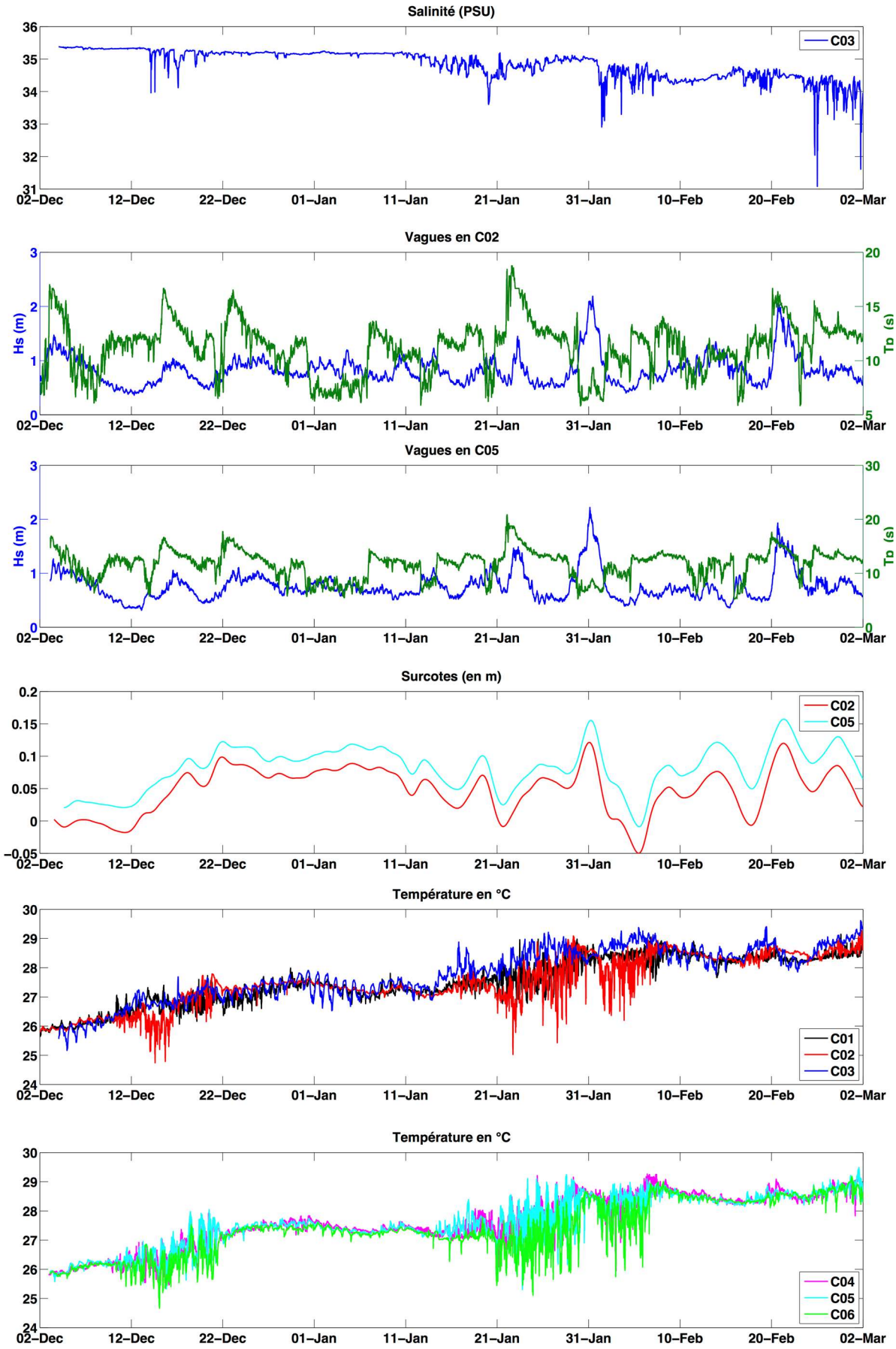


Figure 22 : Synthèse des observations pour le leg 1 du 2 décembre 2014 au 2 mars 2015

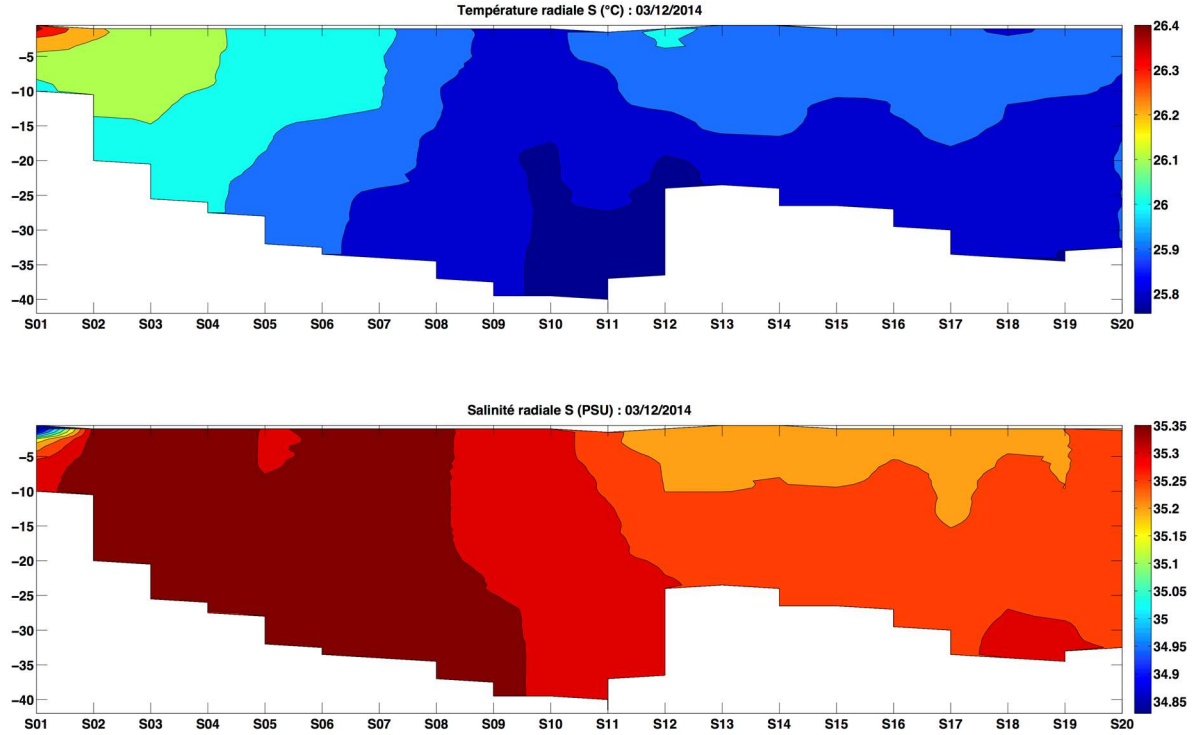


Figure 23 : Température et salinité observée sur la radiale S le 03/12/2014

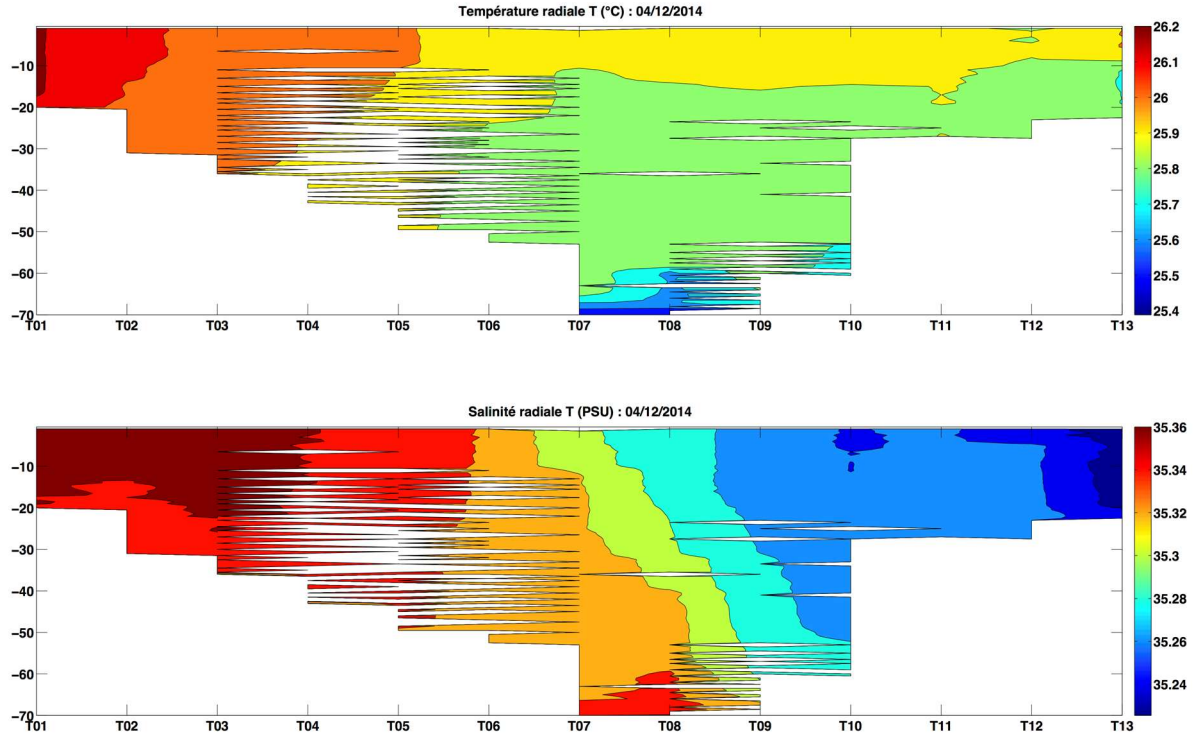
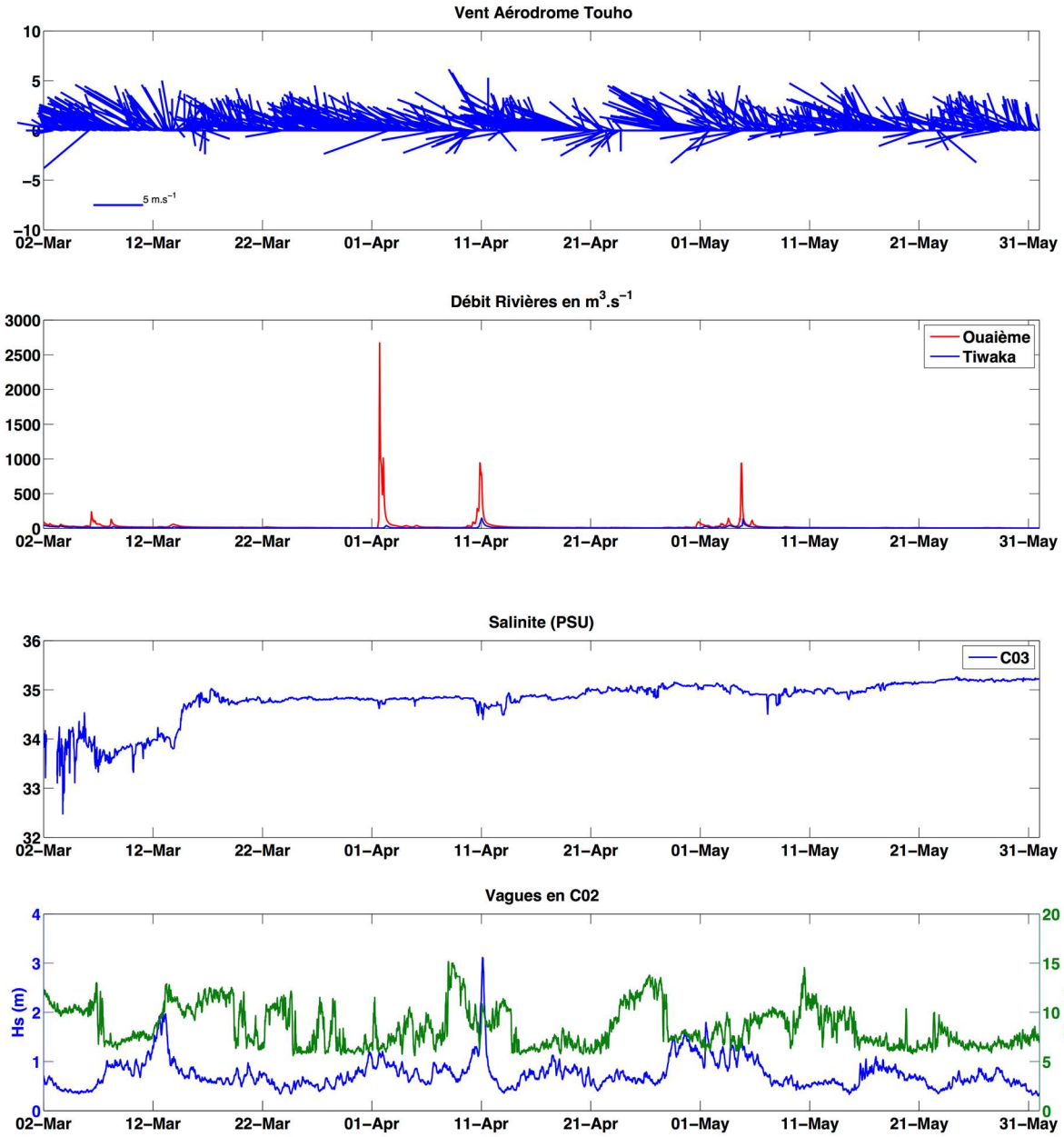


Figure 24 : Température et salinité observée sur la radiale T le 04/12/2014

3.2. Leg 2 : du 02/03/2015 au 01/06/2015



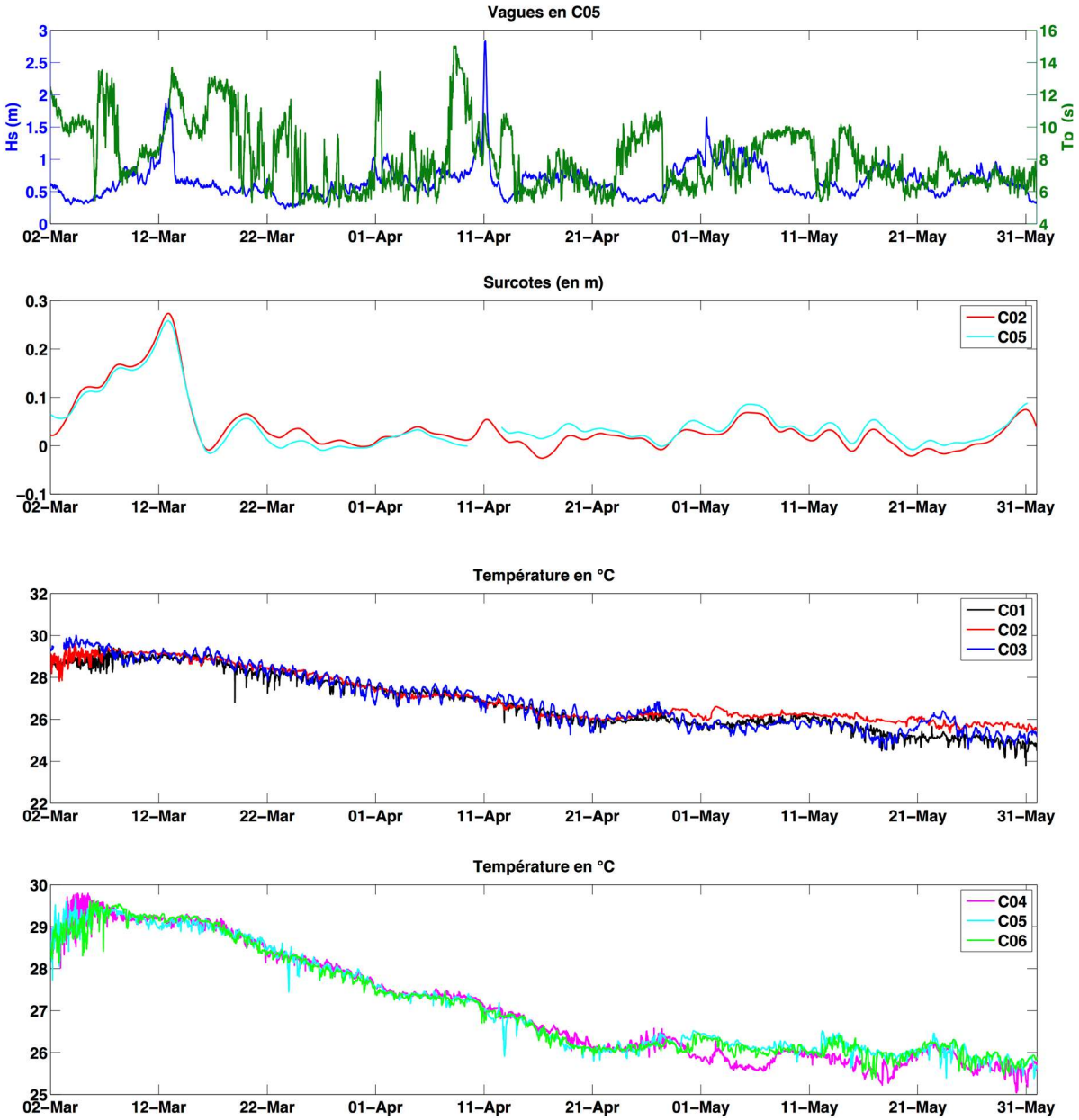


Figure 25 : Synthèse des observations pour le leg 2 du 2 mars 2015 au 31 mai 2015

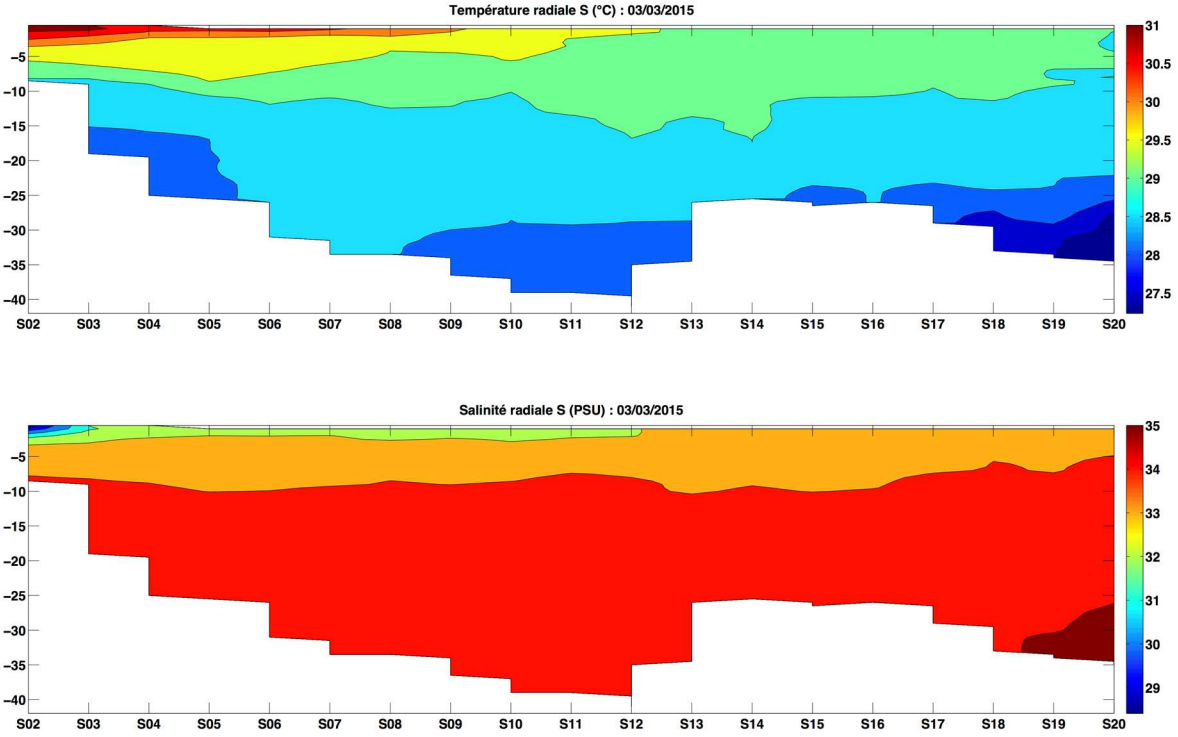


Figure 26 : Température et salinité observée sur la radiale S le 03/03/2015

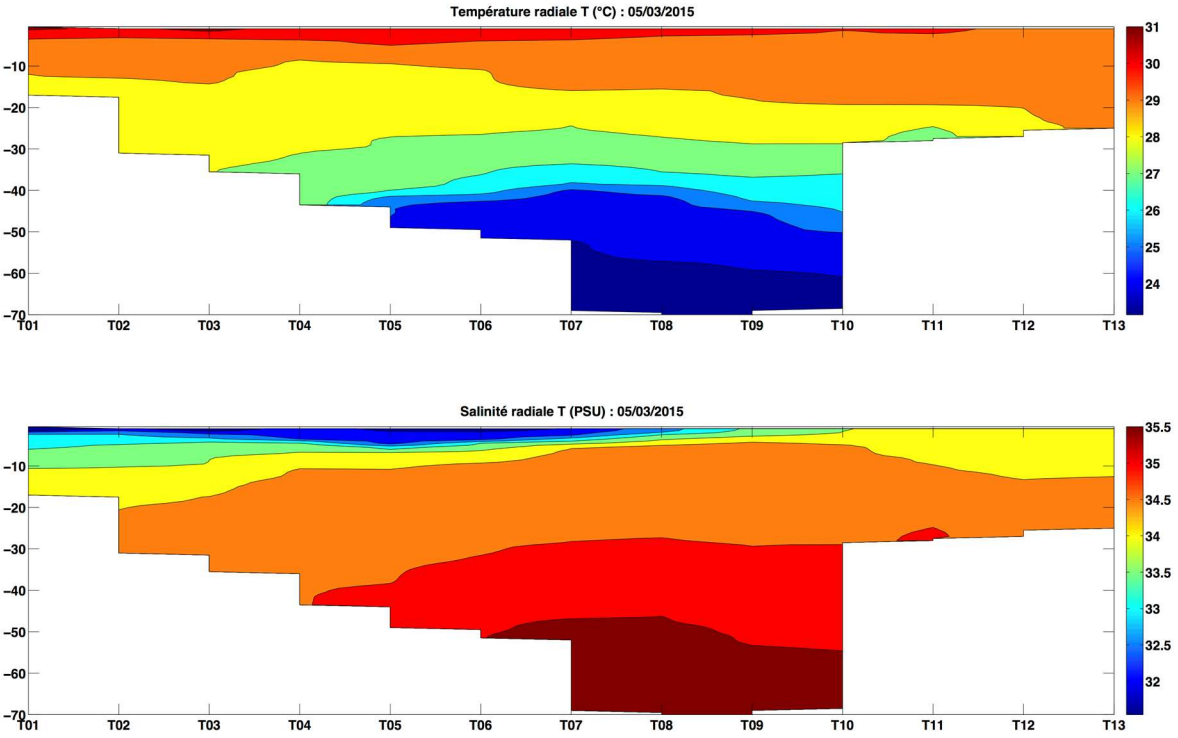
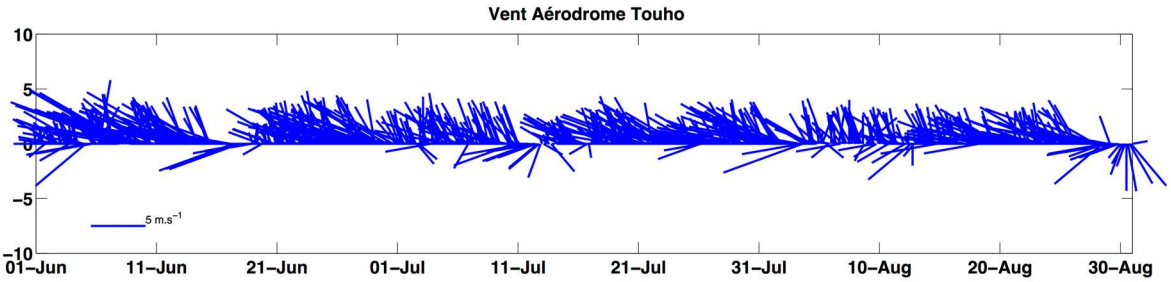
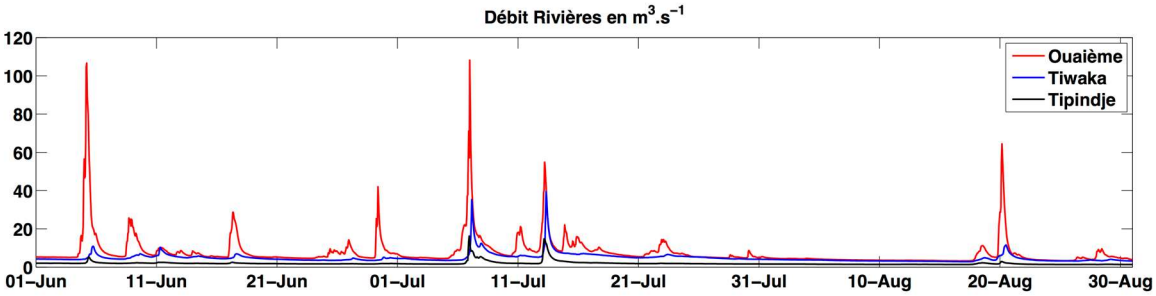
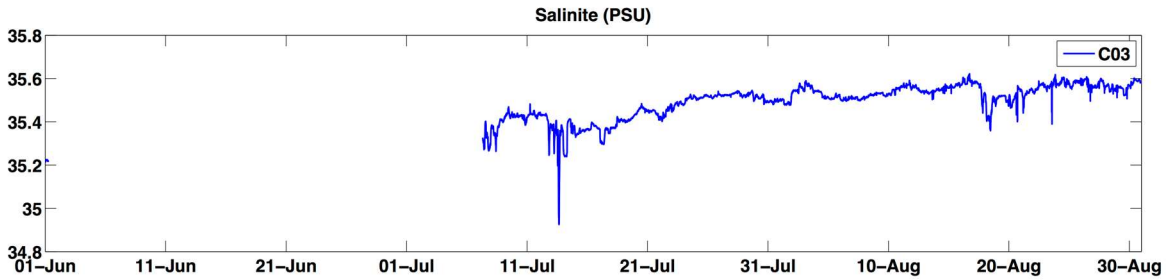


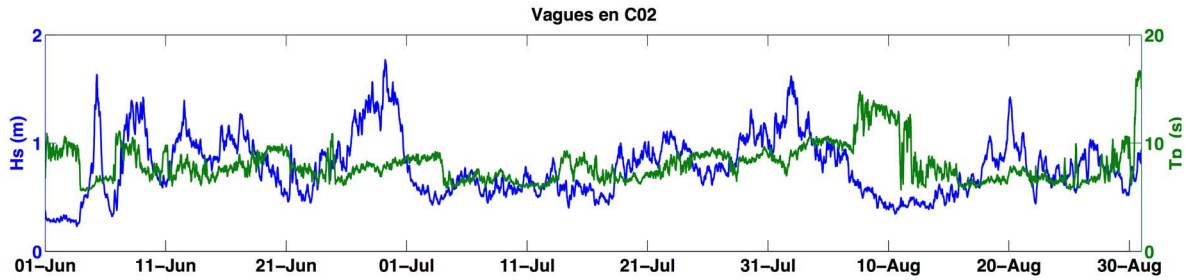
Figure 27 : Température et salinité observée sur la radiale T le 05/03/2015

3.3. Leg 3 : du 01/06/2015 au 31/08/2015









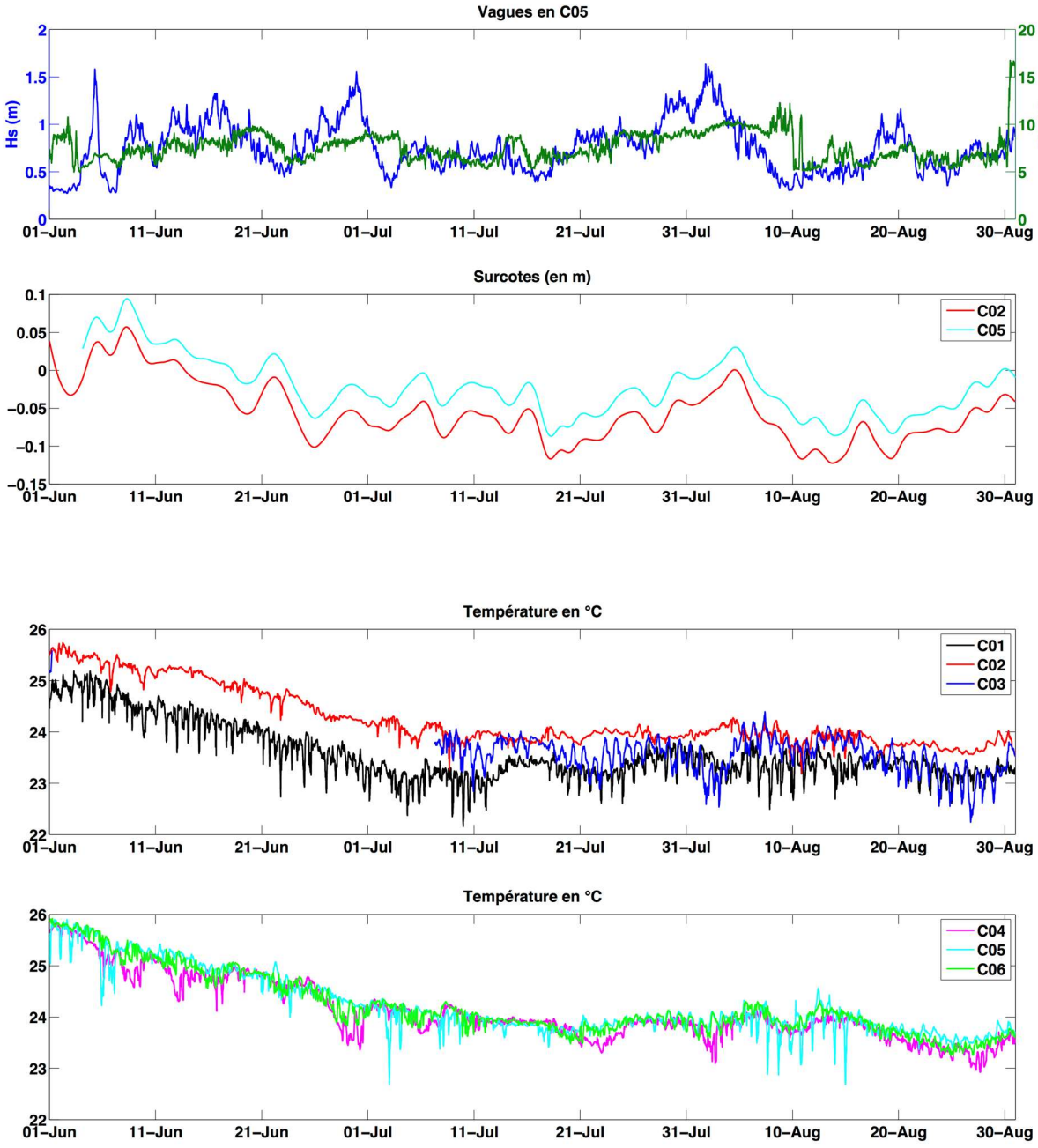


Figure 28 : Synthèse des observations pour le leg 3 du 1er juin 2015 au 1er septembre 2015

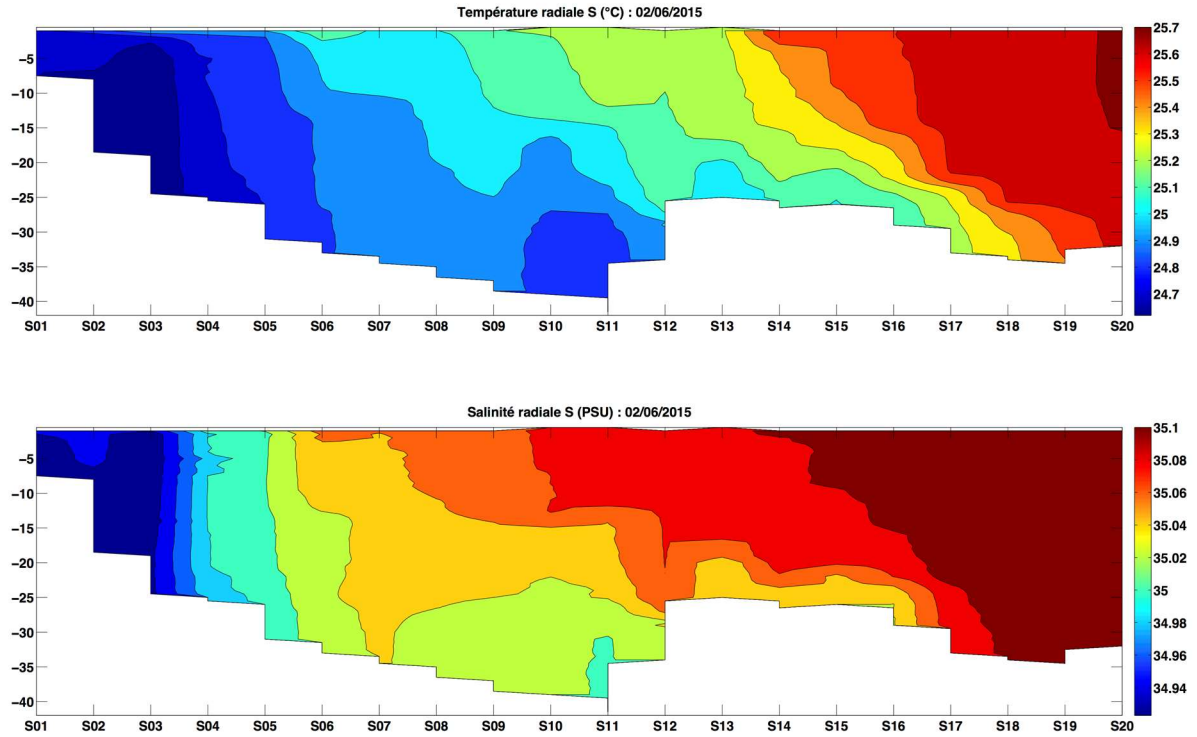


Figure 29 : Température et salinité observée sur la radiale S le 02/06/2015

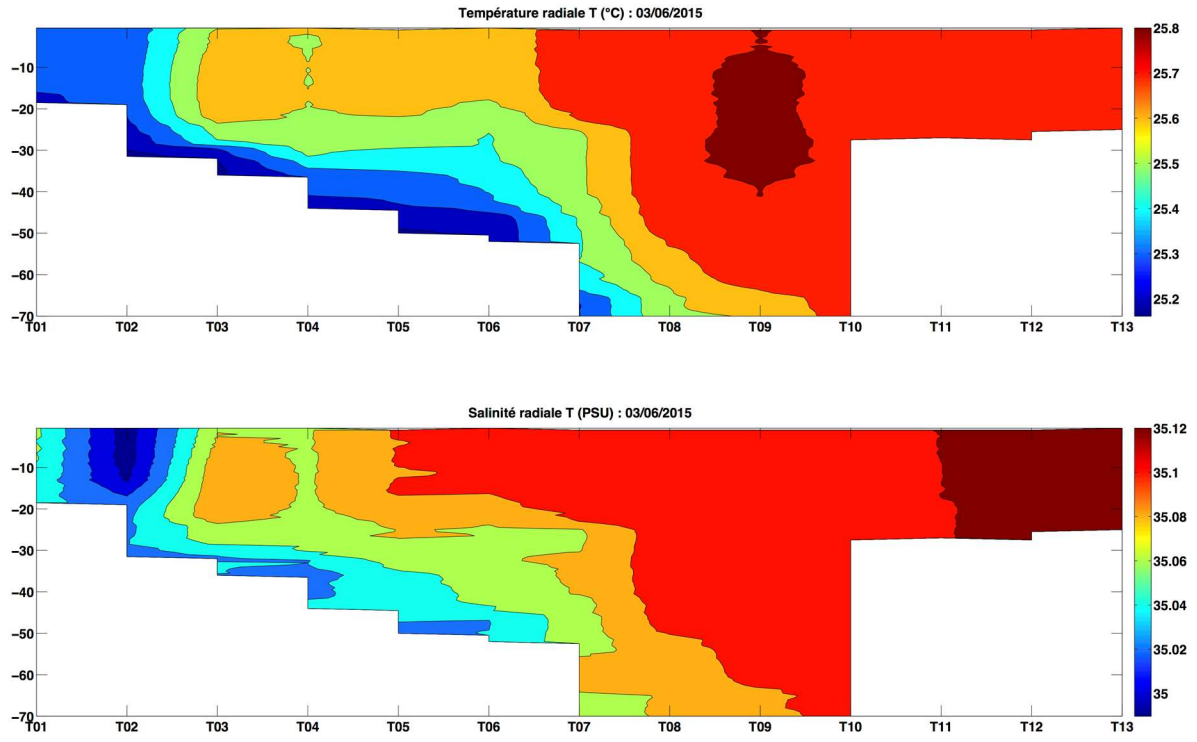
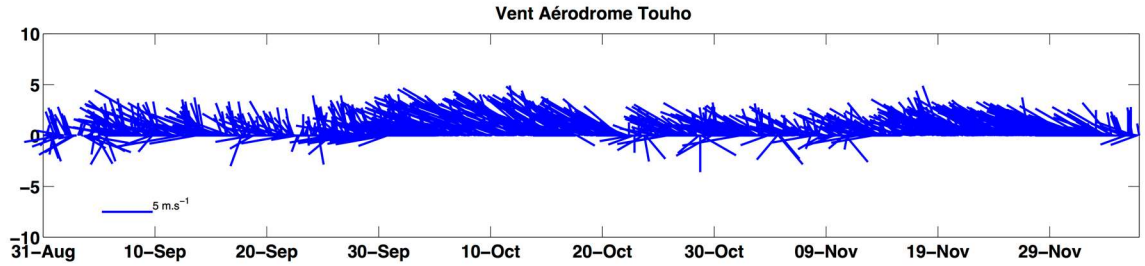
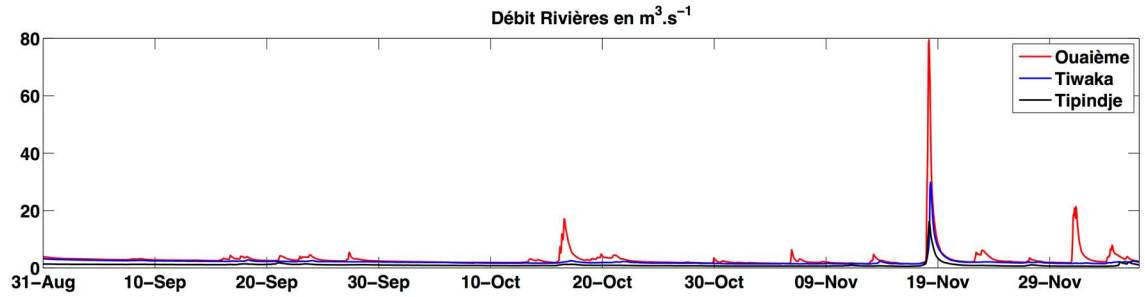
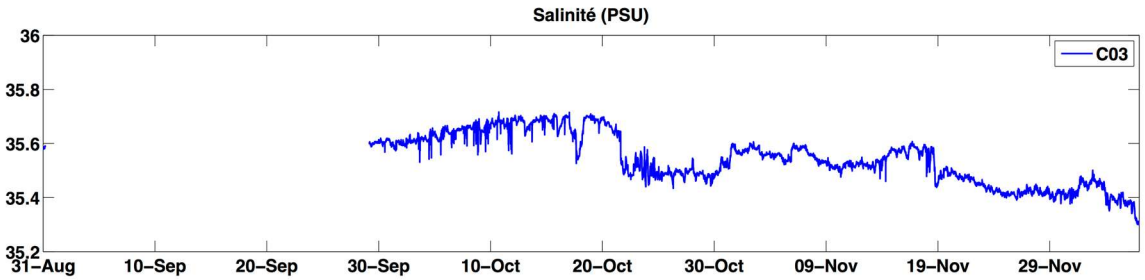


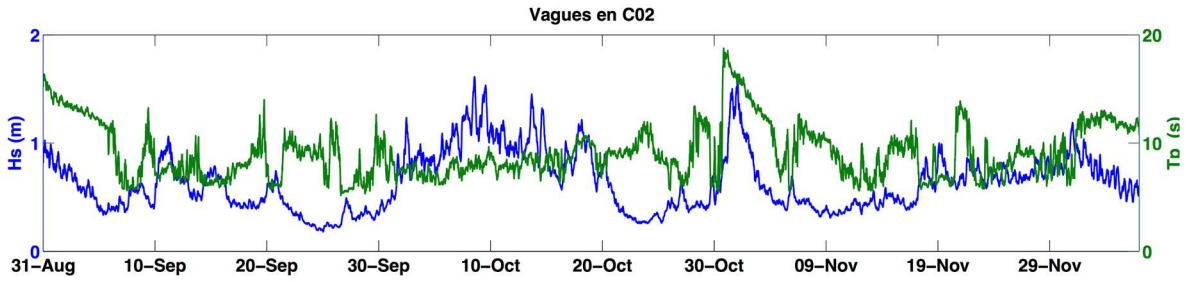
Figure 30 : Température et salinité observée sur la radiale T le 03/06/2015

3.4. Leg 4 : du 31/08/2015 au 07/12/2015









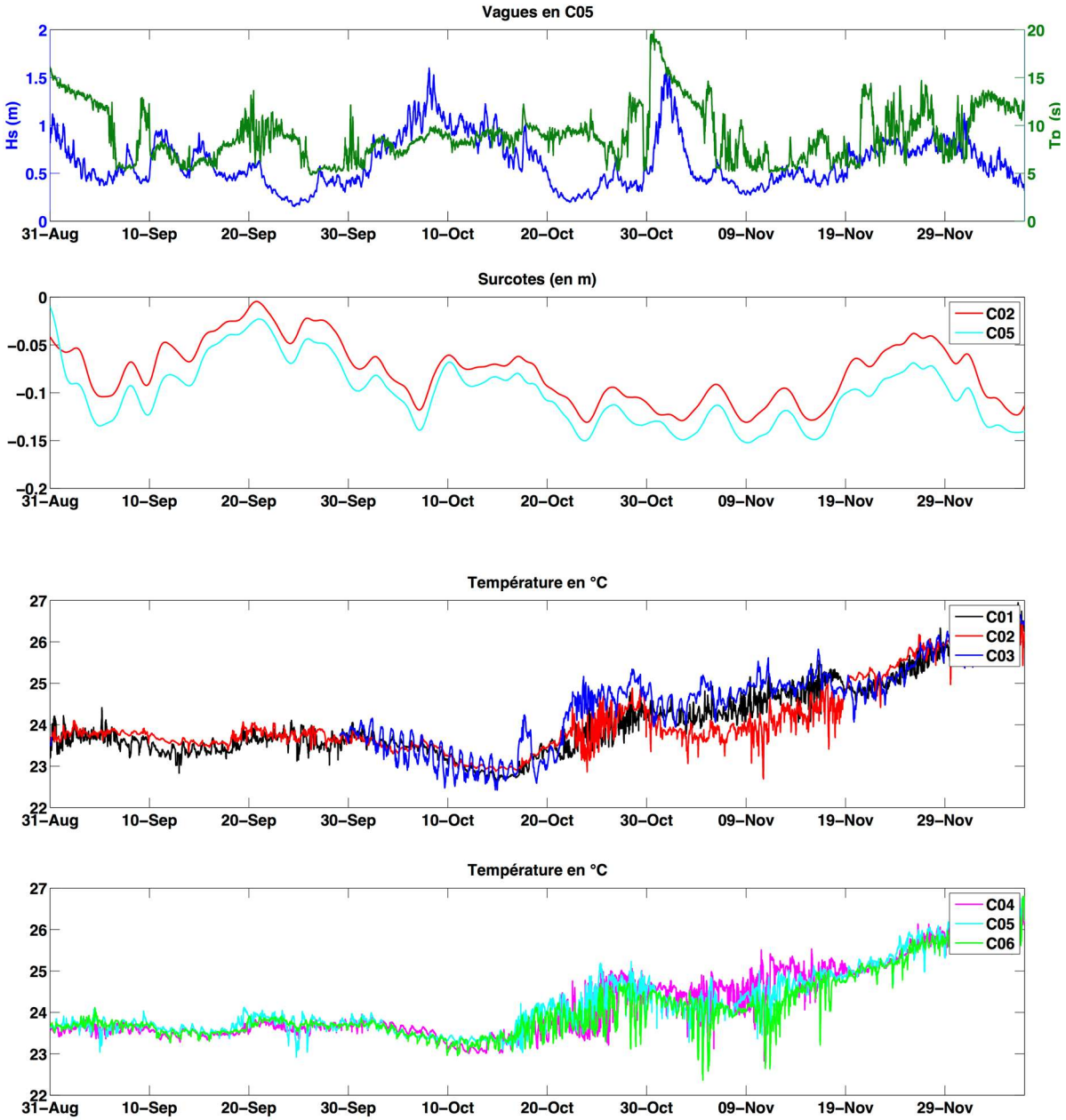


Figure 31 : Synthèse des observations pour le leg 4 du 31 août 2015 au 1er décembre 2015

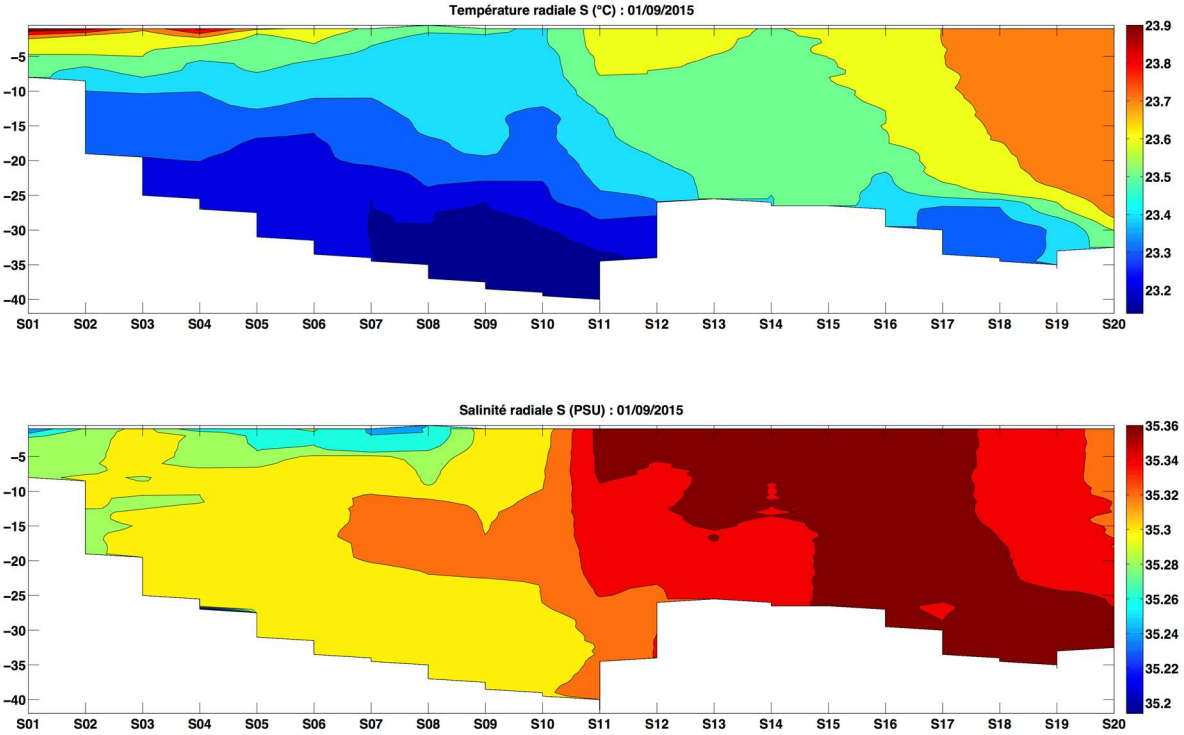


Figure 32 : Température et salinité observée sur la radiale S le 01/09/2015

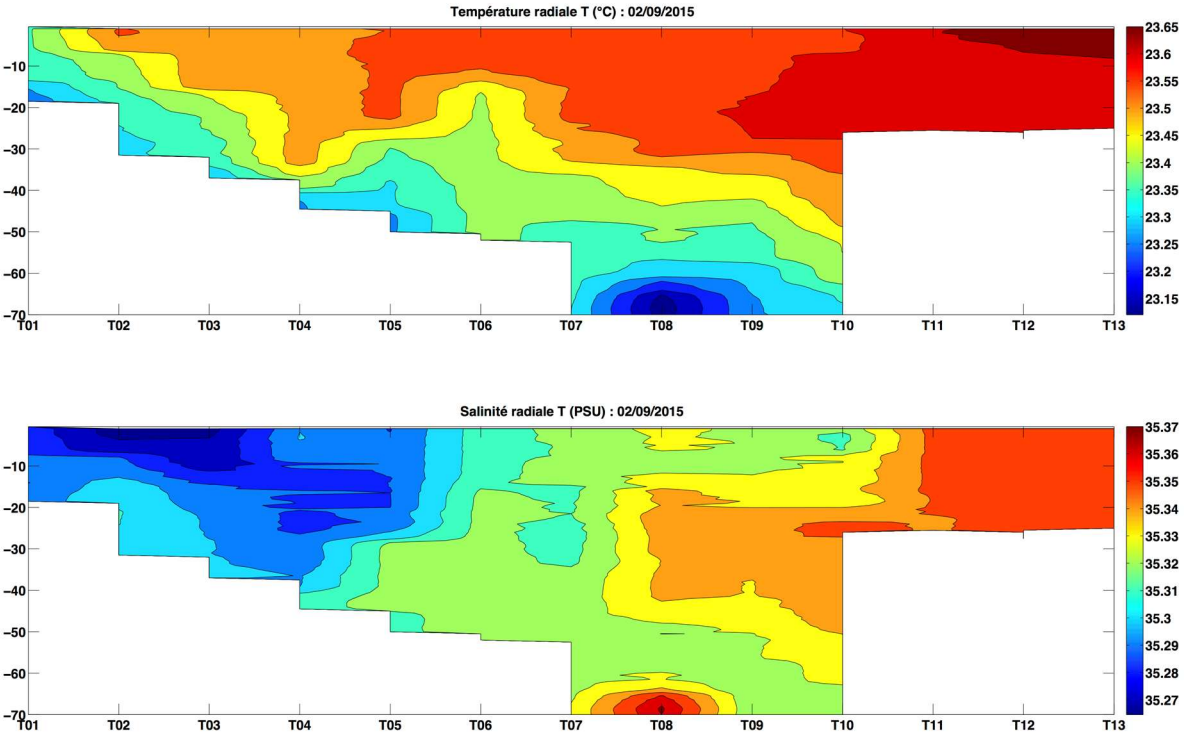
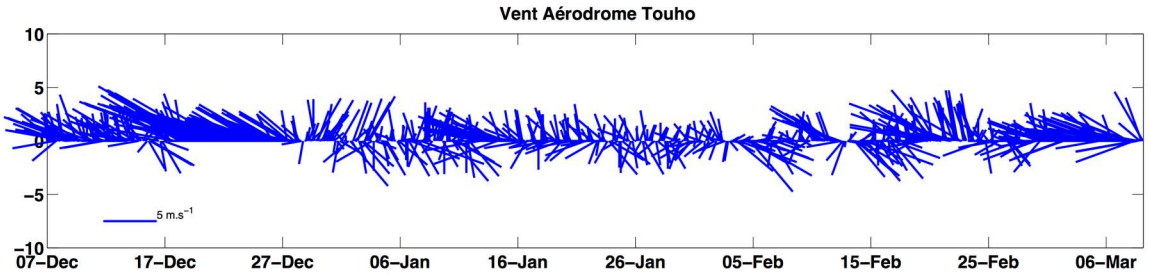
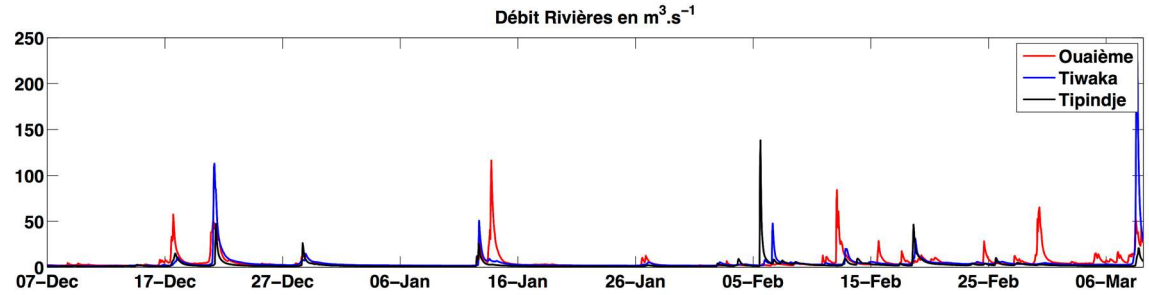
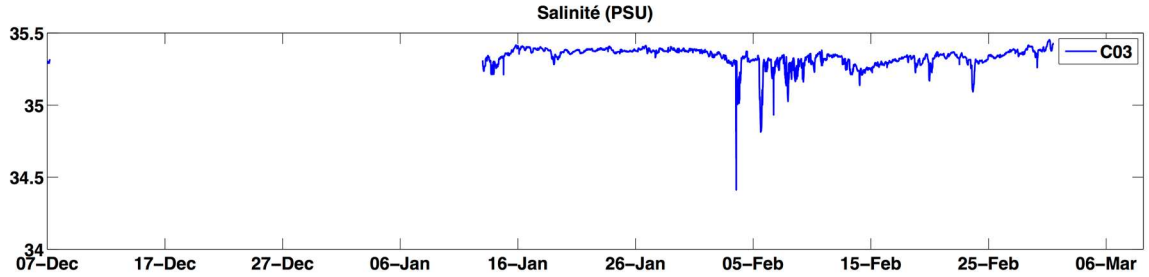


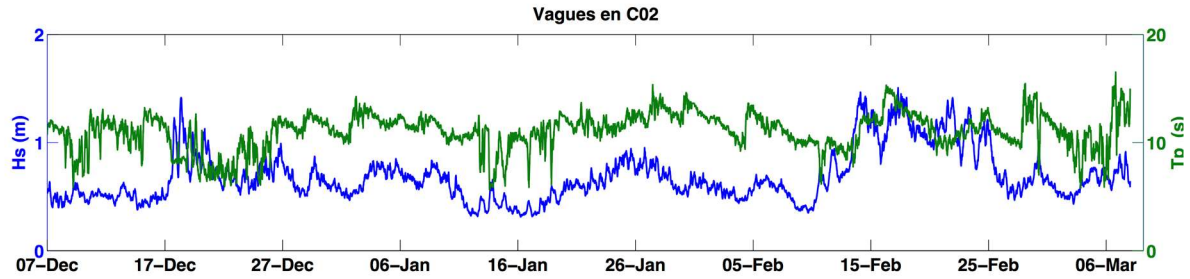
Figure 33 :Température et salinité observée sur la radiale T le 02/09/2015

3.5. Leg 5 : du 07/12/2015 au 10/03/2016









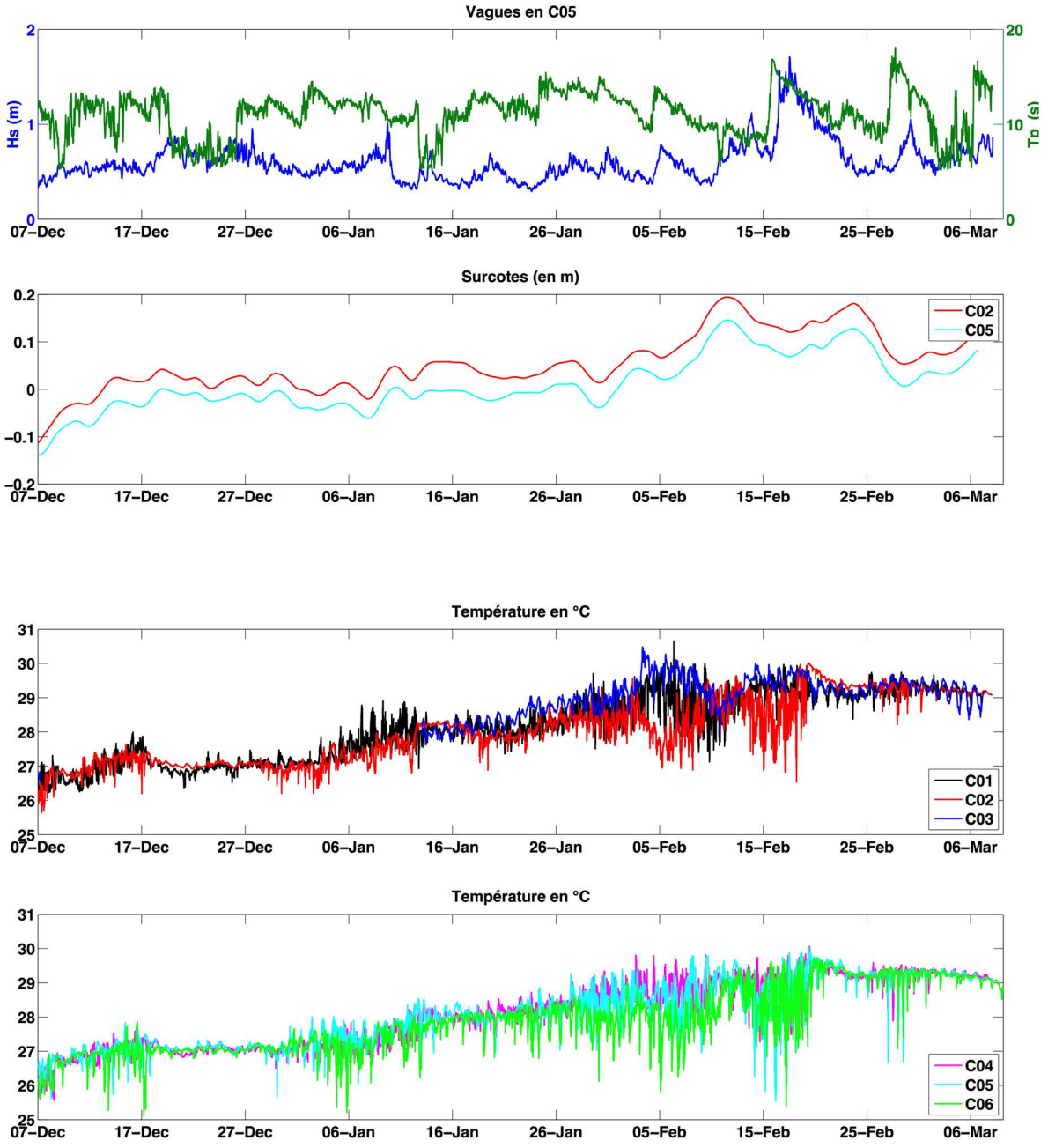


Figure 34 : Synthèse des observations pour le leg 5 du 07 décembre 2015 au 7 mars 2016

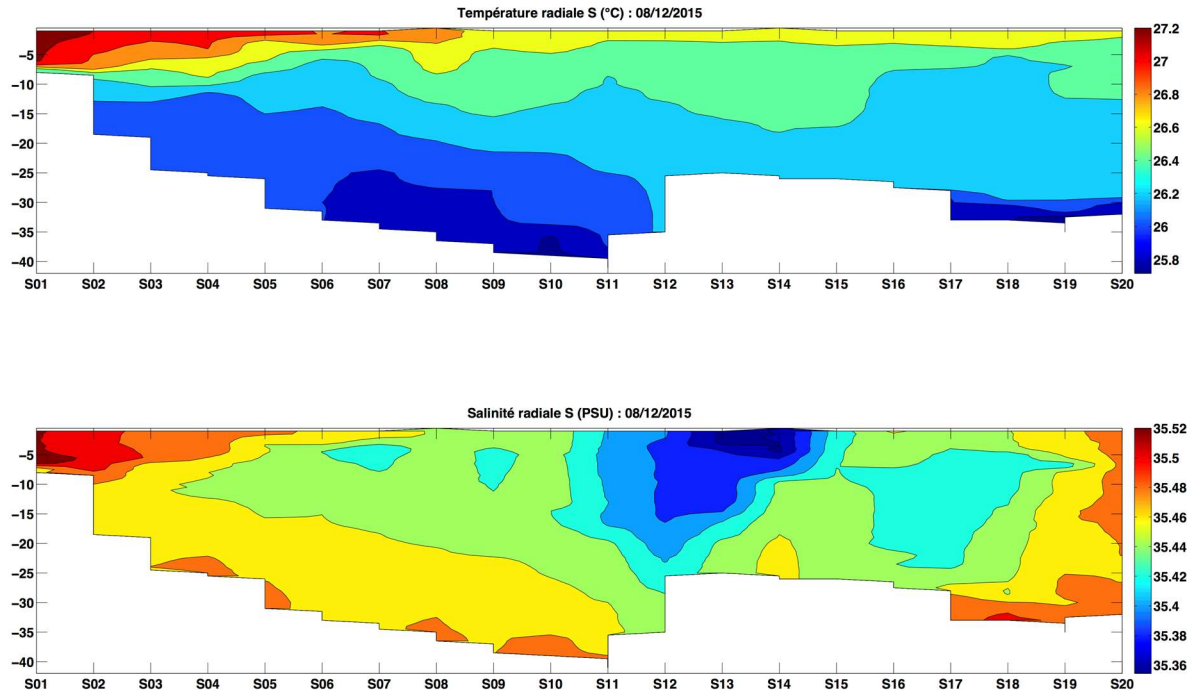


Figure 35 : Température et salinité observée sur la radiale S le 08/12/2015

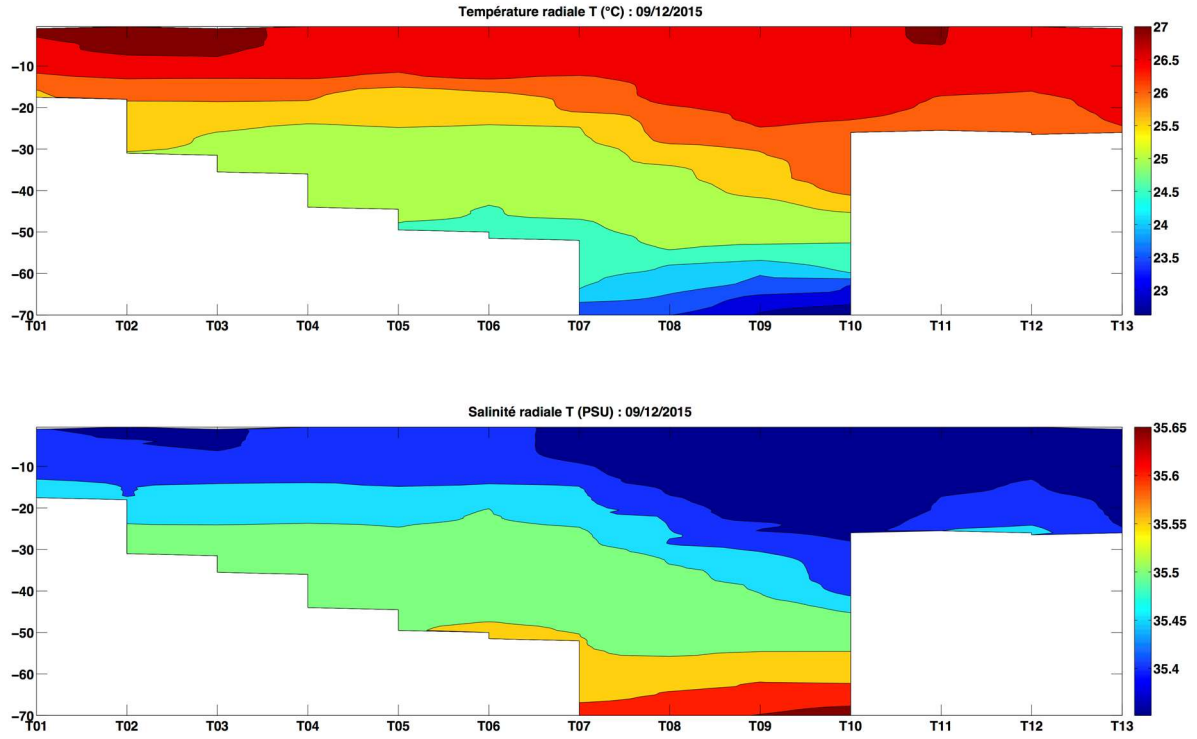
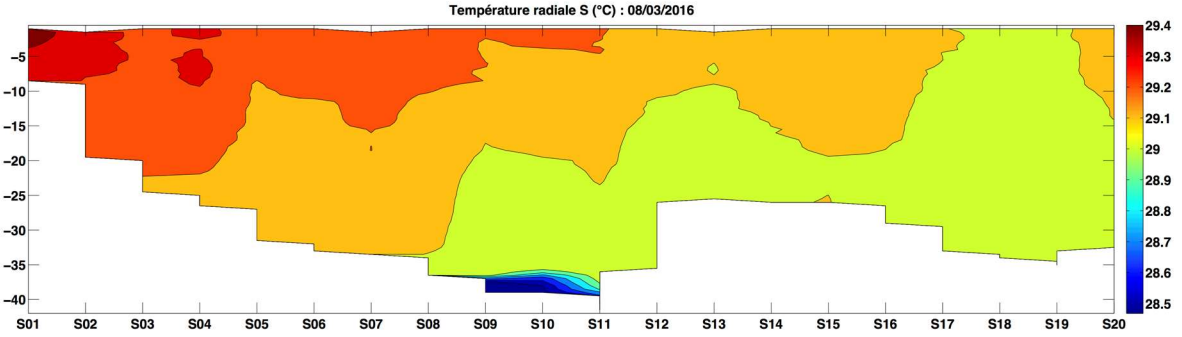


Figure 36 :Température et salinité observée sur la radiale T le 09/12/2015



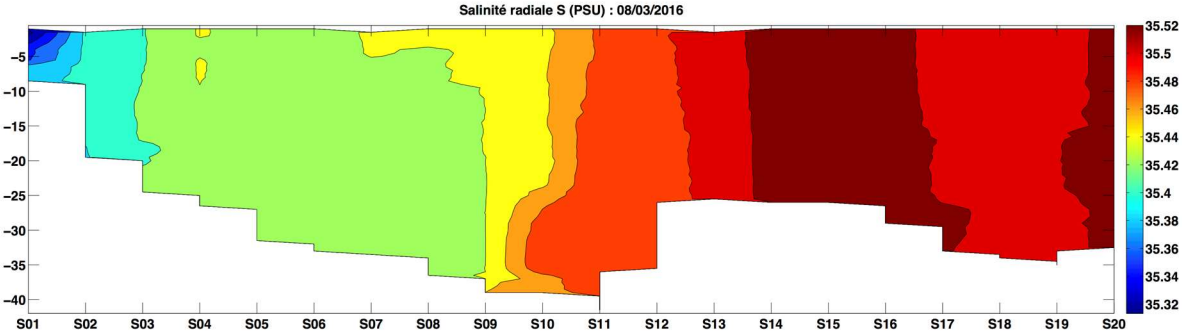
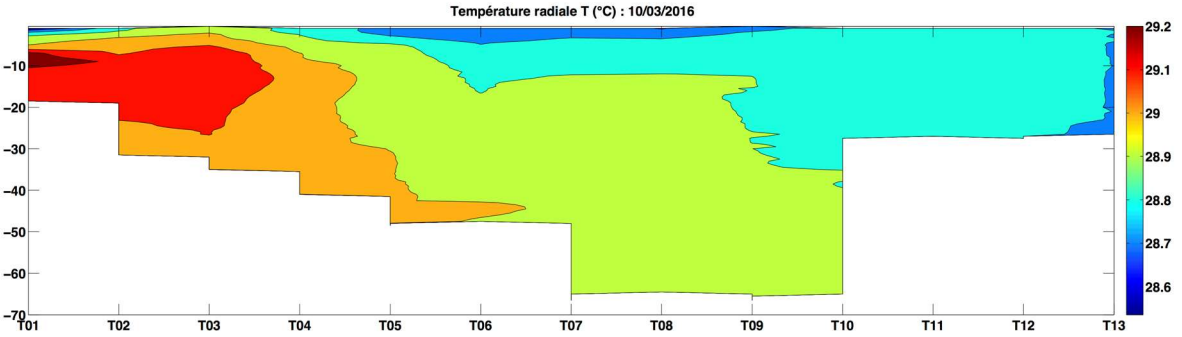


Figure 37 : Température et salinité observée sur la radiale S le 08/03/2015



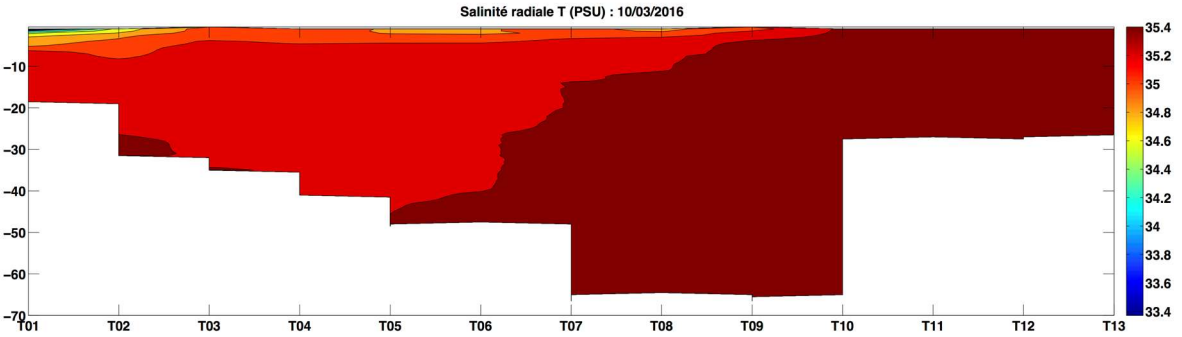


Figure 38 : Température et salinité observée sur la radiale T le 10/03/2015

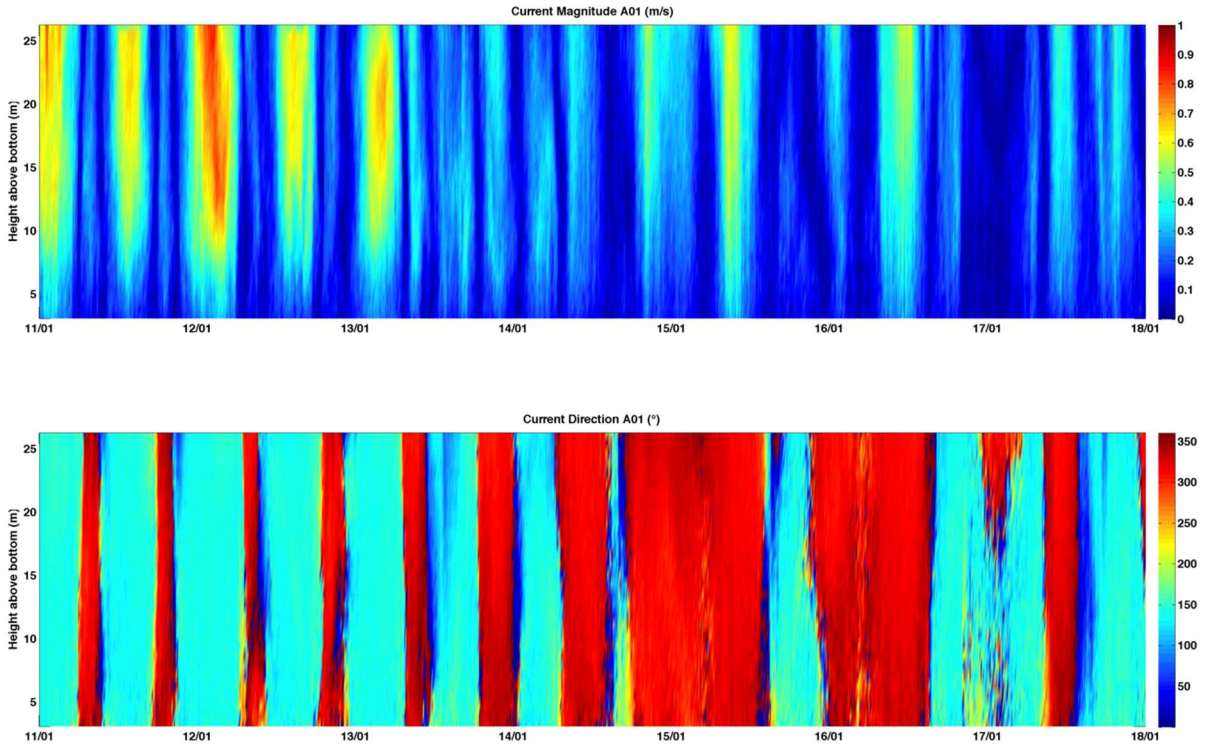


Figure 39 : Intensité et direction du courant mesuré à la station A01 (passe de Touho) entre le 11 et le 18 janvier 2016. Toutes les mesures réalisées avec les ADCP sont disponibles dans les annexes 10, 11, 12, 13 (respectivement pour ADCP1, ADCP2, ADCP3 et ADCP4).

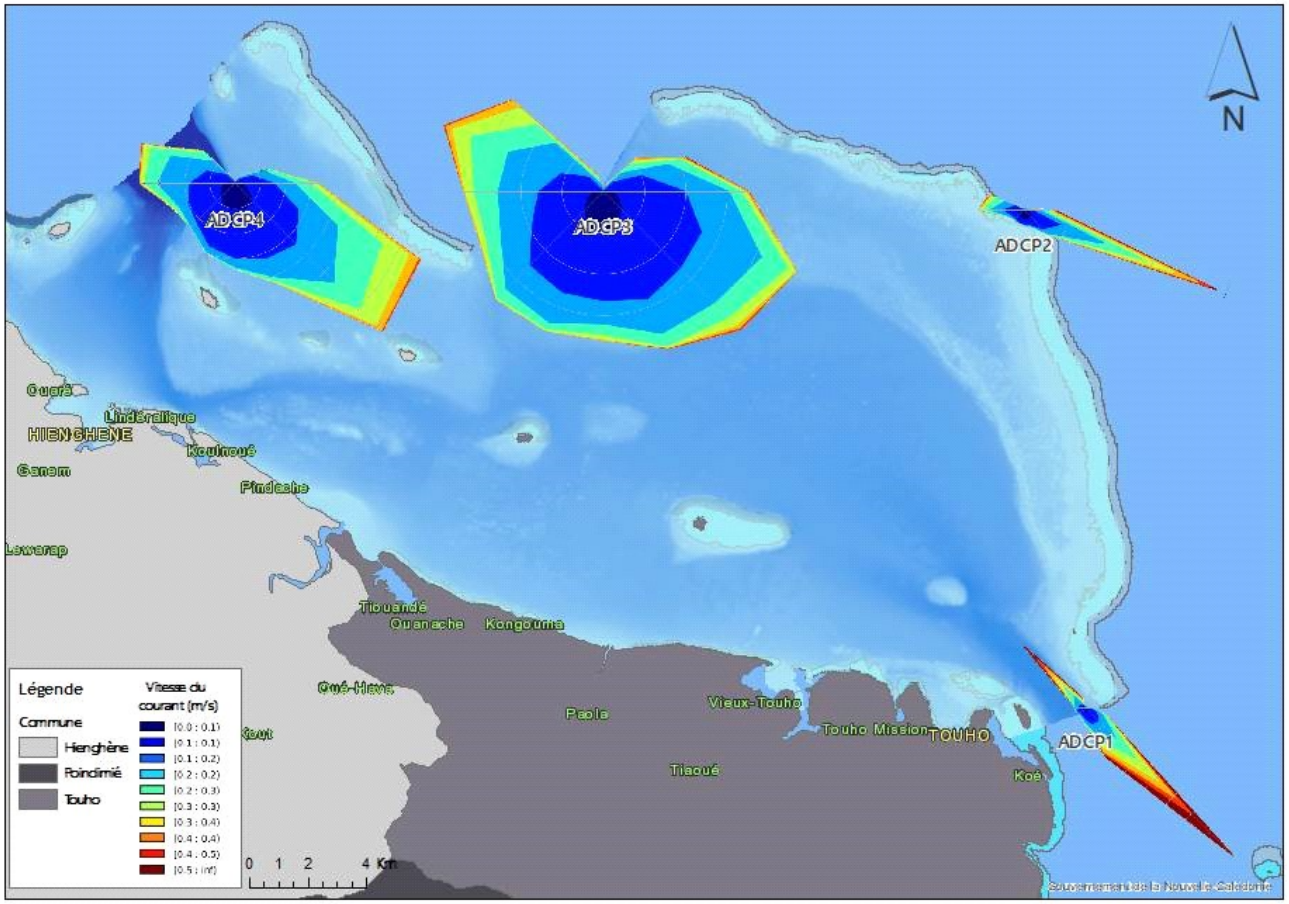


Figure 40: Roses de courant sur la période de début janvier 2016 à début mars 2016 (cf. annexes 3 et 14)

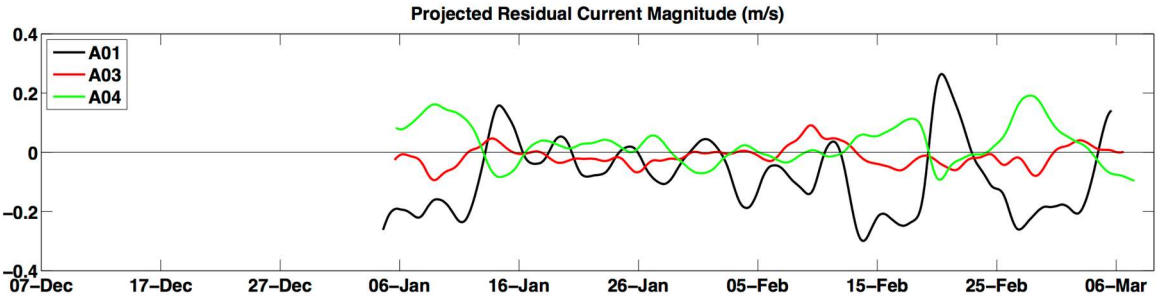


Figure 41 : Courants résiduels (filtrés de la marée) moyens sur la colonne d'eau et projetés sur l'axe des passes de Touho (A01), Grande Passe (A03) et Hienghène (A04). Les valeurs positives indiquent des résiduels entrants dans le LHT. Les valeurs négatives des courants résiduels sortants du lagon.

4. Conclusion

Ces campagnes de suivi et d'échantillonnage du lagon de Hienghène-Touho ont permis d'acquérir un jeu de données conséquent afin de comprendre son fonctionnement ainsi que les facteurs contrôlant sa dynamique. Ce rapport constitue une archive de toutes les observations brutes réalisées pendant ces 15 mois de mesure et n'a donc pas de finalité explicative de tous les processus et évènements rencontrés. Cela va faire l'objet de la suite du travail du projet de recherche PRESENCE, au cours duquel toutes ces observations vont être analysées afin de décrire et de comprendre les mouvements et la qualité des masses d'eau de cet écosystème.

BIBLIOGRAPHIE

Alric R., 2009. Recueil des debits caracteristiques de la Nouvelle-Caledonie. DAVAR-SESER-ORE

Andréfouët S., Torres-Pullizza D, 2004, Atlas des récifs coralliens de Nouvelle-Calédonie, IFRECOR Nouvelle-Calédonie, IRD, Nouméa, Avril 2004, 26 p + 22 planches

Asconit et Biotop, 2011, Définition des Hydro-Ecorégions dans le cadre des conseils de l'eau : Rapport d'état d'avancement phases 1 et 2. 40 pages.

Wiegel Robert L., 1964. Oceanographical engineering. 572 pages.