



*Capteur RBR fixé sur le fond – Campagne SPHYNX
(2014-2016)*

Évaluation de la pertinence de l'utilisation de données de marée issues de l'atlas FES2012 dans le contexte des lagons calédoniens

Projet PRESENCE

Oriane Bruyere - Emmanuel Bourassin - Benoit Soulard – Romain Le Gendre

15/05/2020



TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	6
1 MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	7
1.1 GÉNÉRALITÉS SUR LA MARÉE ASTRONOMIQUE.....	7
1.2 SOLUTION GLOBALE FES2012	8
1.3 SITE D'ÉTUDE ET JEUX DE DONNÉES UTILISÉS	9
1.3.1 Généralités.....	9
1.3.2 Les données utilisées.....	9
1.4 LES OUTILS PYTHON	13
1.4.1 Analyse Harmonique.....	13
1.4.2 Recomposition Harmonique.....	13
2 RÉSULTATS	14
2.1 LES COMPOSANTES PRINCIPALES DE MARÉE EN NOUVELLE-CALÉDONIE.....	14
2.1.1 Comparaison des harmoniques principales.....	14
2.1.2 Distribution spatiale des ondes majeures.....	15
2.2 COMPARAISON ENTRE ONDE DE MARÉE OBSERVÉE ET PRÉDITE.....	16
2.2.1 Les capteurs marégraphiques	17
2.2.2 Les capteurs de pression.....	18
2.2.3 Estimation du déphasage temporel de l'onde FES	25
3 DISCUSSION	27
3.1 ERREURS D'AMPLITUDE	27
3.2 DÉPHASAGE	28
CONCLUSION : IMPLICATIONS POUR L'ACQUISITION DE DONNÉES	29

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des 8 composantes principales de marée (d'après SIMON B. 2007 et FOREMAN M., 1977)	7
Tableau 2 : Caractéristiques des données de marégraphes utilisées pour l'extraction des harmoniques.....	11
Tableau 3: Caractéristiques des données de pression acquises dans le cadre du projet PRESENCE.....	12
Tableau 4 : Somme des huit amplitudes principales (marégraphes vs FES2012) à chaque station	15
Tableau 5 : Erreurs absolues calculées pour les stations des capteurs RBR et marégraphes	24
Tableau 6 : Déphasage moyen (minute) entre l'onde prédite par FES2012 et l'onde observée par le capteur de pression	25

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Les types de marée (Simon B., 2007).....	8
Figure 2 : Localisation des différentes stations de mesure de niveau d'eau.....	10
Figure 3 : Modèle de Capteur RBR duo (Température, Pression).....	12
Figure 4 : Modèles de capteurs ADCP V Sentinel.....	12
Figure 5 : Comparaison des amplitudes des harmoniques principales FES2012 versus marégraphes SHOM.....	14
Figure 6 : Distribution spatiale des 6 composantes principales de la marée en Nouvelle-Calédonie (échelle de couleur : amplitude en mètre ; isolignes : phase en degré).....	15
Figure 7 : Marégraphe de Ouinné (côte est).....	17
Figure 8 : Marégraphe de Lifou (Îles Loyauté).....	18
Figure 9 : Station O2 – Pente externe du Lagon de Poé.....	19
Figure 10 : Station L13 – Lagon de Poé.....	20
Figure 11: Comparaison des hauteurs significatives de vagues observées à la station O2 (courbe bleue) et des erreurs de niveau d'eau \pm supérieures à 10 cm mesurée à la station L13 (barres vertes et oranges).....	20
Figure 12 : Station B01 – Baie de Boulari (Grand-Nouméa).....	21
Figure 13 : Station C07 – Lagon de Pouébo.....	22
Figure 14 : Station C02 – Pente externe du Lagon de Hienghène.....	22
Figure 15 : Station R01 – Trou bleu du Lagon de Koumac.....	23
Figure 16 : Station R03 – Pente externe du Lagon de Koumac.....	24
Figure 17 : Station D01 – Baie de Dumbéa – (Grand-Nouméa).....	33
Figure 18 : Station O1 – Pente externe du Lagon de Poé.....	33
Figure 19 : Station C05 – Pente externe du Lagon Hienghène.....	34
Figure 20 : Station A01 – Lagon de Koumac.....	34



RESUME

Ce rapport fait partie du projet PRESENCE (PReSSIONS sur les Écosystèmes récifaux et lagonaireS de Nouvelle-CalédoniE). L'objectif principal 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. L'étude développée dans ce rapport se concentre sur l'évaluation de la pertinence de recompositions harmoniques issues de l'atlas de marée FES2012 dans les lagons calédoniens afin de disposer d'un outil rapide pour quantifier la marée dans le cadre de travaux le nécessitant (e.g bathymétrie dérivée satellitaire, lâchers de bouées dérivantes lagrangiennes). Les résultats obtenus montrent une erreur commise plus importante par la prédiction de la marée en milieu lagonaire comparativement au milieu océanique, et ceci d'autant plus dans le cas de lagons fermés. Les cycles de mortes-eaux avec des états de mer océaniques faibles semblent être les périodes les plus propices à une bonne estimation de la marée autour de la Grand Terre.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) pour la mise à disposition des données de mesures de niveaux d'eau ([HTTPS://DATA.SHOM.FR](https://data.shom.fr)).

CITATION

Ce rapport doit être cité comme suit :

Oriane Bruyère, Emmanuel Bourassin, Benoit Soulard, Romain Le Gendre (2020). Évaluation de la pertinence de l'utilisation de données de marée issues de l'atlas FES2012 dans le contexte des lagons calédoniens. 27 pages

MOTS CLES

PRESENCE - Nouvelle-Calédonie - Marée - FES2012 – Lagons – Recomposition harmonique - Prédiction

INTRODUCTION

Ce rapport est issu du projet de recherche PRESENCE (PReSSIONS sur les Ecosystèmes récifaux et lagonaires de Nouvelle-Calédonie) mené par l'unité de recherche Ifremer LEAD-NC - Lagon, Ecosystèmes et Aquaculture Durable en Nouvelle-Calédonie - et financé par l'accord-cadre conclu avec le Gouvernement et les Provinces Sud et Nord de Nouvelle-Calédonie. Débuté en 2017, ce projet a pour objectif principal de mieux appréhender le fonctionnement des lagons de Nouvelle-Calédonie à partir d'observations in-situ, de télédétection et de modélisation hydrodynamique. Il s'attache notamment à caractériser le devenir des pressions terrigènes (e.g rivières) au sein de ces écosystèmes coralliens.

Cette étude vise à évaluer la pertinence de la solution globale de marée FES2012 au sein des lagons de Nouvelle-Calédonie. En effet, plusieurs applications développées ou utilisées dans le cadre du projet (e.g bathymétrie dérivée satellitaire, analyse de la circulation à l'aide de bouées dérivantes, etc.) peuvent nécessiter de disposer d'une méthode rapide permettant de fournir une prédiction des variations de niveaux liées à la marée sur une zone spécifique de la ZEE calédonienne.

La marée est un phénomène astronomique induisant plus de 80% de la variabilité du niveau marin océanique, il apparaît donc indispensable de pouvoir prédire ou reconstituer l'élévation des niveaux d'eau, notamment dans le cadre de mesures in-situ. La détermination des élévations peut être réalisée par la pose d'un instrument de mesure sur le terrain (souvent coûteux) ou bien par le biais d'un modèle de prédiction.

FES (Finite Element Solution) est un atlas mondial d'harmoniques de marée modélisées, basé sur l'assimilation de données acquises in-situ via des stations fixes et de mesures satellitaires de niveaux d'eau. Conçu au début des années 90, différentes versions ont été proposées au fil des années (e.g 99, 2004, 2012) comportant des améliorations notables à chaque fois.

Pour évaluer la pertinence de l'utilisation du produit FES au sein des lagons de Calédonie, cette étude compare la qualité du signal de marée issu de FES2012 à des données de niveaux mesurés in-situ provenant des marégraphes du SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) et des capteurs de pression mis en place dans le cadre du projet PRESENCE. Après avoir présenté les caractéristiques de la solution FES2012, puis décrit la marée en Nouvelle-Calédonie et les données utilisées dans cette étude, la première partie de ce rapport sera consacrée à la comparaison des harmoniques principales issues de la mesure (SHOM, PRESENCE) et celles issues de FES2012. Par la suite, des diagnostics plus ciblés permettront d'obtenir une appréciation de l'erreur commise selon les milieux (lagonaires, océaniques) en utilisant une recomposition harmonique issue de cette solution.



1 MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1 Généralités sur la marée astronomique

La marée est un phénomène astronomique agissant sur l'élévation du niveau marin terrestre. Les astres tels que la Lune et le Soleil vont agir sur les océans par le biais des forces gravitationnelles. La marée possède un cycle dit lunaire (environ 28.5 jours) qui est caractérisé par une évolution du marnage au cours de cette période – ce sont les cycles de vives-eaux / mortes-eaux.

Le spectre de marée est un mode de représentation du phénomène, il permet de dissocier une onde en fonction des fréquences. L'onde de marée est constituée de 143 composantes harmoniques regroupées par domaines de fréquence définissant ainsi des espèces. Chaque composante est influencée par un astre perturbateur (la Lune et / ou le Soleil). Les symboles associés sont définis par une lettre et suivis par un code déterminant la périodicité de l'harmonique :

- 2 : ondes semi-diurnes ;
- 1 : ondes diurnes ;
- Aucun numéro : ondes influençant sur le long terme.

La somme des amplitudes des ondes renseigne sur les variations des niveaux d'eau (SIMON B., 2007). De manière générale, huit ondes contiennent à elles seules 80 à 90% de l'énergie totale du signal de marée (SIMON B., 2007). Les caractéristiques de ces huit composantes sont présentées dans le Tableau 1 ci-dessous.

*Tableau 1 : Caractéristiques des 8 composantes principales de marée
(d'après SIMON B. 2007 et FOREMAN M., 1977)*

Astre	Nom de la composante	Symbole	Périodes (heure)	Temps d'enregistrement requis pour la discriminer
Lune	Lunaire Moyenne	M2	12.42 h	13 h
Soleil	Solaire Moyenne	S2	12 h	14.83 j
Lune	Déclinationnelle	K1	23.93 h	24 h
Lune	Lunaire Principale	O1	25.81 h	13.66 j
Soleil	Solaire Principale	P1	24.06 h	182.62 j
Lune	Elliptique Majeure	N2	12.65 h	27.58 j
Lune	Elliptique Majeure	Q1	26.86 h	27.58 j
Soleil	Déclinationnelle	K2	11.96 h	182.62 j

Une classification usuelle est basée sur le coefficient « Rf » correspondant au ratio de la somme des amplitudes des 2 ondes diurnes principales (K1 + O1) sur la somme des amplitudes des ondes semi-diurnes majeures (M2 + S2) (Simon B., 2007). À partir de ce ratio, quatre catégories de marée sont déterminées, l'onde de marée associée est observable sur la Figure 1 :

- $Rf < 0.25$, la marée est dite semi-diurne correspondant à deux pleines et basses mers par jour de même amplitude (cf. Figure 1-A)

- $0.25 < R_f < 1.5$, la marée est de type semi-diurne à inégalités diurnes, définies par deux pleines et basses mers par jour avec une amplitude plus faible des niveaux d'eau lors de la seconde marée journalière (cf. Figure 1-B).
- $1.5 < R_f < 3$, la marée est mixte, ce type de marée possède une prédominance semi-diurne ou diurne en fonction de la déclinaison de la lune (cf. Figure 1-C)
- $R_f \geq 3$, la marée est de type diurne, correspondant à une seule marée par jour (cf. Figure 1-D).

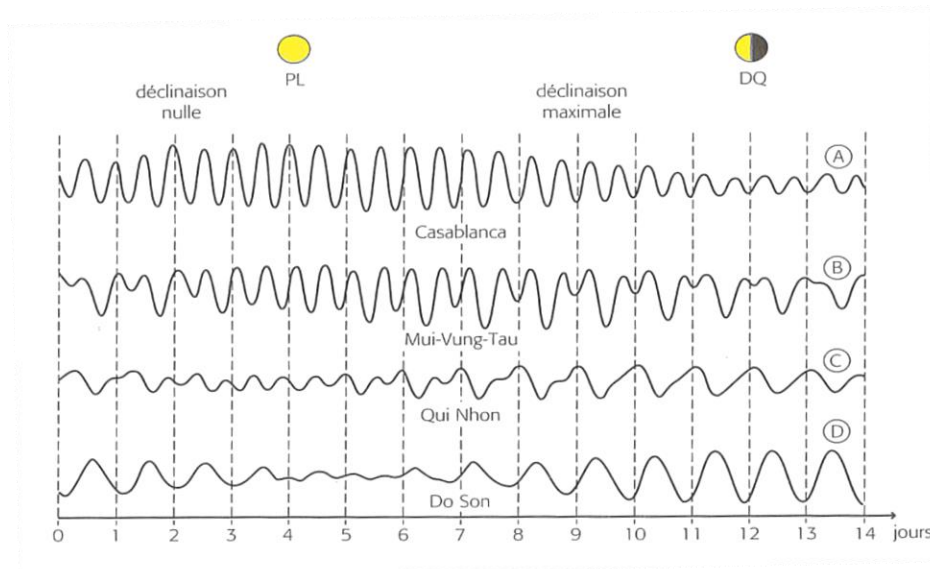


Figure 1 : Les types de marée (Simon B., 2007).

1.2 Solution globale FES2012

FES2012 - [HTTP://WWW.AVISO.ALTIMETRY.FR](http://www.aviso.altimetry.fr) - est une version développée en 2012 du modèle FES (Finite Element Solution) assimilant plus de 20 années de données d'altimétrie satellitaires (Topex/Poseidon, Jason-1, Jason-2, ERS-1, ERS-2 et ENVISAT). Cette version 2012 fournit 32 harmoniques de marée à une résolution de $1/16^\circ$ (environ 7 km), ce qui représente une amélioration, à la fois en termes de nombre d'harmoniques mais également en termes de résolution spatiale, par rapport à la version précédente qui proposait 15 harmoniques à une échelle d' $1/8^\circ$.

La validation de ce modèle par les organismes développeurs - LEGOS (Laboratoire d'Études en Géophysique et Océanographie Spatiales), Noveltis et CLS (Collecte Localisation Satellites) - a démontré de meilleurs résultats comparativement à d'autres solutions (FES 2004, GOT4V8), spécifiquement en ce qui concerne les niveaux d'eau mesurés en milieu côtier et sur les plateaux continentaux (CARRÈRE L., ET AL., 2012).

L'évolution principale entre les versions 2004 et 2012 de l'atlas FES réside principalement dans l'assimilation de mesures d'altimétrie satellitaire (jusqu'à 12 000 - CARRÈRE L., ET AL., 2012) en remplacement de mesures in-situ traditionnelles à l'aide de marégraphes (671 stations pour FES 2004 - LYARD, F, ET AL., 2006). De plus un affinement de la maille en éléments finis a été accompli passant ainsi de 1 à 1,5 millions de points.

Les données d'amplitudes et de phases des 32 ondes de marée FES2012 sont disponibles sur demande et acceptation du développeur via leur site internet.



1.3 Site d'étude et jeux de données utilisés

1.3.1 Généralités

La Nouvelle-Calédonie est un regroupement d'îles situées dans le Pacifique Sud (21°15' S, 165° 18' E). Ce territoire d'outre-mer se compose d'une île principale appelée « Grande-Terre », de plusieurs îles attenantes (îles Loyauté, archipel des Bélep et île des Pins) ainsi que de nombreux récifs éloignés (récifs de l'Astrolabe, Entrecasteaux, Pétrie, etc.) dispersés dans la mer de Corail. Le projet PRESENCE s'attachant à caractériser le devenir des pressions terrigènes (principalement par les rivières) au sein des écosystèmes coralliens, cette étude se focalise sur les lagons de la Grande Terre. Ils présentent des disparités est/ouest qui s'observent notamment par la présence de lagons moins profonds et protégés des eaux océaniques par un récif barrière continu sur la côte ouest. Au contraire, la côte est présente des lagons beaucoup plus profonds et ouverts sur l'océan.

La Nouvelle-Calédonie est une région méso tidale (marnage < 2m) avec un régime de marée qui se caractérise par deux basses mers et deux pleines mers par jours (DOUILLET P., 1998). En s'aidant du coefficient « Rf » présenté précédemment (cf. paragraphe 1.1), il est possible de déterminer le régime local de marée à Nouméa. Une valeur de 0.37 est obtenue, caractéristique d'une marée de type semi-diurne à inégalité diurne correspondant à deux marées par jour, avec des amplitudes différentes (cf. Figure 1).

Douillet (1998), dans son travail sur la dynamique tidale du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie, a démontré, à partir de l'analyse d'observations terrain, la prépondérance de six composantes d'amplitudes supérieures à 5 cm pour le lagon sud-ouest. Les ondes concernées sont les ondes M2, S2, O1, K1, P1 et N2 (cf. Tableau 1). Il a par ailleurs mis en évidence une évolution des amplitudes de deux ondes semi-diurnes (M2 et S2) dans le lagon sud-ouest, avec une amplification du sud vers le nord.

1.3.2 Les données utilisées

La base de données REFMAR (Réseaux de Référence des observations Marégraphiques) regroupe plus de 99 stations de mesures fixes (marégraphes) localisées en métropole et en Outre-mer dédiées à la mesure des niveaux d'eau et gérées par différents organismes (SHOM, LEGOS, etc.). Il existe différents types d'instruments, qu'ils soient côtiers (radar ou acoustique) ou de fond (pression). Les données enregistrées par le SHOM sont mises à disposition en libre accès (DATA.SHOM.FR), avec différents niveaux de traitement et de fréquence (brutes, filtrées, etc.).

Un deuxième type de données est utilisé dans cette étude et correspond à des observations effectuées à l'aide de capteurs de pression RBR® et d'un ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) dans le cadre du projet PRESENCE.

Au global, l'ensemble de ces données permet de comparer marée observée et prédite sur différents milieux répartis autour de la Grande-Terre. La Figure 2 ci-dessous recense toutes les stations de mesure (SHOM & PRESENCE) utilisées dans cette étude.

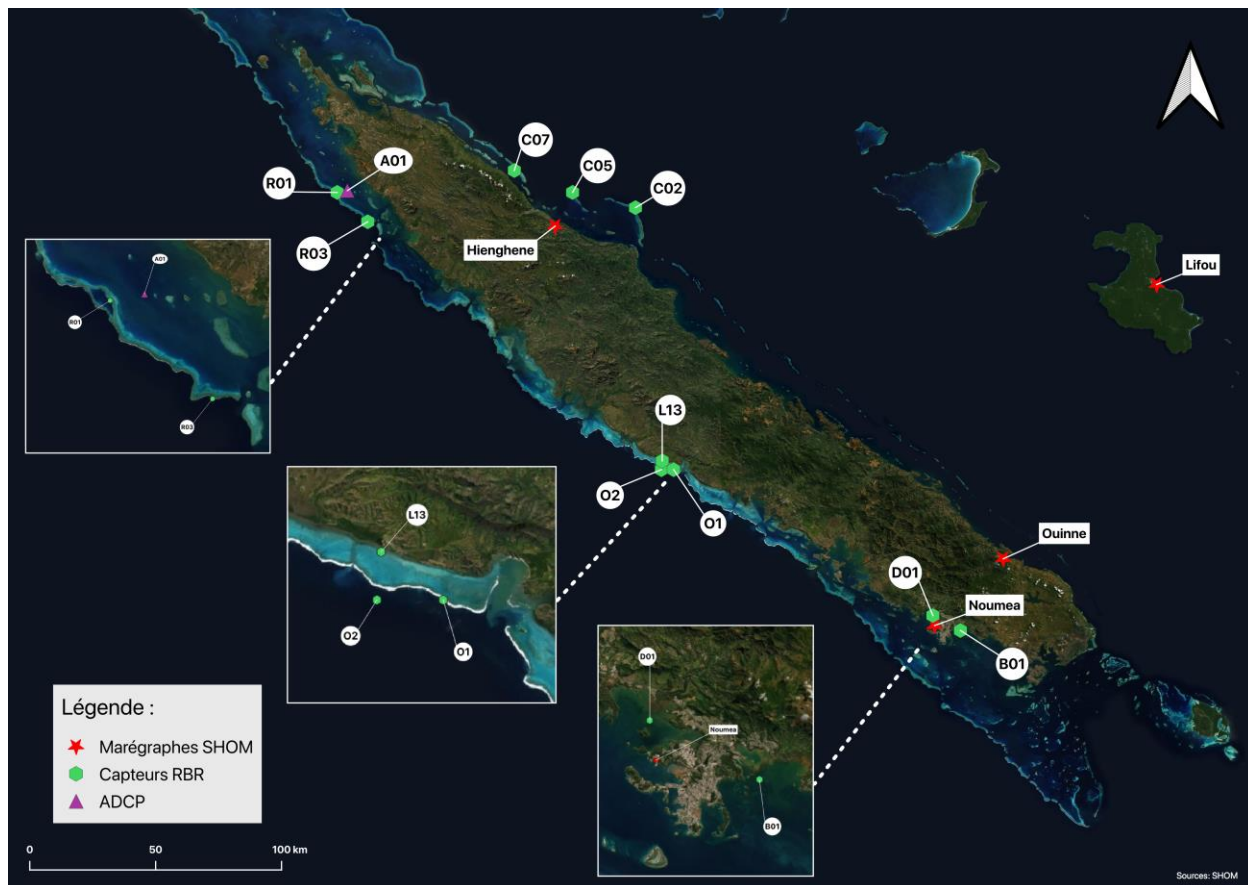


Figure 2 : Localisation des différentes stations de mesure de niveau d'eau

Les marégraphes du SHOM en Nouvelle-Calédonie

La Nouvelle-Calédonie dispose d'un réseau de 4 marégraphes fonctionnels opérés par le SHOM. Trois sont situés sur les côtes de la Grande-Terre et un sur l'île de Lifou dans les îles Loyauté (cf. Figure 2). Ils ont pour but de contribuer à la surveillance du risque tsunami dans le Pacifique ainsi qu'à l'observation sur le long terme des variations du niveau marin moyen. Au nord-est de la Grande-Terre, le marégraphe de Hienghène est positionné dans l'estuaire qui porte le même nom. Plus au sud (230 km), un autre marégraphe est installé, proche de l'embouchure de la Ouïné sur un ponton. Le troisième est quant à lui situé au sud-ouest de l'île, dans le port de la presqu'île de Numbo à Nouméa. Enfin, le marégraphe de Lifou est positionné dans la marina de la baie de Chateaubriand sur la côte est de cette île Loyauté.

D'après Simon (2007), il est nécessaire d'utiliser au minimum une année de mesure afin d'extraire la majorité des constituants du signal de marée. Cependant, le but ici étant, dans un premier temps, de comparer les 8 composantes principales du signal de marée observées et prédites (cf. Tableau 1), nous avons choisi d'utiliser 6 mois de mesures. En effet, le Tableau 1 renseigne sur le temps minimal de mesure nécessaire pour bien discriminer chaque onde et met en évidence que les ondes P1 et K2 nécessitent 182,6 jours de mesure soit environ 6 mois.

Le choix des périodes d'analyse (Tableau 2) a été réalisé en fonction de la base de données du SHOM afin de disposer de 6 mois de mesure en continu.



Tableau 2 : Caractéristiques des données de marégraphes utilisées pour l'extraction des harmoniques

Marégraphes	Zone géographique	Longitude	Latitude	Début de la Mesure	Fin de la Mesure	Niveau Moyen (m)
Nouméa	Lagon sud-ouest	166.4162	-22.2419	10-06-2013	10-12-2013	1.011
Ouiné	Lagon sud-est	166.6832	-21.9828	01-06-2016	31-12-2016	1.001
Hienghène	Estuaire de la Hienghène	164.9431	-20.6919	01-06-2018	31-12-2018	0.964
Lifou	« Océanique » (Marina Wé)	167.2786	-20.9184	01-06-2014	31-12-2014	0.943

Les données du projet PRESENCE

Dans le cadre du projet PRESENCE, des données de pression ont été acquises, à ce jour, sur 4 sites pilotes :

- Les lagons de Hienghène-Pouébo (campagne SPHYNX),
- Le lagon du Grand Nouméa,
- Le lagon de Poé (projet ELADE),
- Le lagon de Koumac (mission RAPACE).

Concernant Hienghène et le Grand Nouméa, des informations complètes peuvent être trouvées dans les 2 rapports suivants :

- Rapport SPHYNX (Le Gendre R., et al. 2018) – (LIEN ARCHIMER),
- Rapport Grand Nouméa (Desclaux, T., et al. 2016-2017) – (DOI : 10.13155/58315).

De même que les jeux de données complets sont disponibles ici :

- Jeu de données SPHYNX Seanoe (DOI : 10.17882/54005),
- Jeu de données Grand Nouméa (DOI : 10.17882/53974),
- Jeu de données Koumac (à venir sur seanoe.org),
- Jeu de données ELADE (à venir sur seanoe.org).

Les fiches de métadonnées ainsi que la position des instruments sont archivées sur le portail cartographique Sextant :

- Couche SPHYNX (LIEN – SEXTANT.IFREMER.FR)
- Couche Grand Nouméa (LIEN - SEXTANT.IFREMER.FR)
- Couche ELADE (LIEN - SEXTANT.IFREMER.FR)
- Couche Koumac (à venir sur sextant.ifremer.fr)

Les instruments de mesure

Les instruments utilisés pour la mesure de pression sont de deux types :

- Les RBR *duo* (WWW.RBR-GLOBAL.COM). Ils permettent une mesure à haute fréquence (1 seconde) de la pression hydrostatique ($\pm 0.05\%$) et de la température ($\pm 0.002^\circ\text{C}$) et ce pendant une période d'immersion d'environ trois mois (cf. Figure 3).
- Les ADCP Sentinel V de la marque TELEDYNE (WWW.TELEDYNEMARINE.COM). Cet instrument permet une mesure à haute fréquence du courant sur toute la colonne d'eau ainsi que la température et la pression ($\pm 0.1\%$) au niveau du capteur (cf. Figure 4).



Figure 3 : Modèle de Capteur RBR duo
(Température, Pression)



Figure 4 : Modèles de capteurs ADCP V
Sentinel

Pour tous les niveaux d'eau issus des capteurs, les données de pression au fond ont subi une correction barométrique inverse pour corriger les effets de la pression atmosphérique (Produit utilisé pour la correction barométrique : ERA5 - LIEN COPERNICUS.EU). Les élévations haute fréquence (i.e. liées aux vagues) ont également été filtrées.

Tableau 3: Caractéristiques des données de pression acquises dans le cadre du projet PRESENCE

Capteurs	Zone géographique	Longitude	Latitude	Début de la Mesure	Fin de la Mesure	Profondeur Moyenne (m)
D01	Lagon sud-ouest (Baie de Dumbéa)	166.4100	-22.2030	03-01-2017	12-02-2017	2.433
B01	Lagon sud-ouest (Baie de Boulari)	166.5170	-22.2610			2.698
O1	Océan (pente externe récif barrière Poé)	165.3558	-21.6369	22-03-2019	06-05-2019	10.062
O2	Océan (pente externe récif barrière Poé)	165.4032	-21.6369			10.856
L13	Lagon de Poé	165.3590	-21.6029			2.18
C02	Océan (Pente externe récif barrière Lagon de Hienghène)	165.2551	-20.6202	03-01-2016	17-02-2016	18.243
C05	Océan (Pente externe récif barrière Lagon de Hienghène)	165.0109	-20.5612			15.356
C07	Lagon de Pouébo	164.7847	-20.4761	03-01-2015	17-02-2015	14.38
R01	Trou bleu Lagon de Koumac	164.1904	-20.6634	03-01-2020	12-02-2020	13.46



R03	Océan (Pente externe récif barrière Lagon de Koumac)	164.2155	-20.6751			11.73
A01	Lagon de Koumac	164.1364	-20.5541			18.58

1.4 Les Outils Python

1.4.1 Analyse Harmonique

La méthode de décomposition harmonique permet à partir d'un signal de marée, d'extraire les amplitudes et phases des différentes harmoniques contenues dans celui-ci. Pour cela, le package Python « `ttide_py` » (version 0.3-exp) a été utilisé.

1.4.2 Recomposition Harmonique

La recomposition harmonique est le procédé inverse à la décomposition. Ainsi, pour un nombre d'harmoniques donné, et connaissant leurs amplitudes et phases, il est possible de recomposer le signal de marée souhaité. Pour réaliser une recomposition harmonique sous Python, le package « `PyTide` » (version 0.0.0) a été utilisé.

Ainsi, à partir d'un point donné (longitude/latitude), d'une date de début et de fin (UTC+00), d'un pas de temps (dt) choisi et enfin d'un fichier comprenant les différents constituants de la marée (e.g FES2012), il est possible de recomposer le signal de marée pour n'importe quelle période souhaitée. La maille extraite dans la solution FES2012 correspond à la maille la plus proche du point de mesure.

2 RESULTATS

2.1 Les composantes principales de marée en Nouvelle-Calédonie

2.1.1 Comparaison des harmoniques principales.

Dans cette partie, l'analyse harmonique du signal de niveau d'eau observé (marégraphes du SHOM) a été réalisée sur une période de 6 mois au pas de temps horaire. (Cf. Tableau 2

). L'objectif est de comparer l'amplitude des composantes principales caractérisées in-situ avec celles issues du modèle FES2012 (cf. Figure 5). Le choix a été fait de ne réaliser cette comparaison que sur les données SHOM car elles disposent toutes d'une profondeur temporelle suffisante : 6 mois de mesures sans interruption.

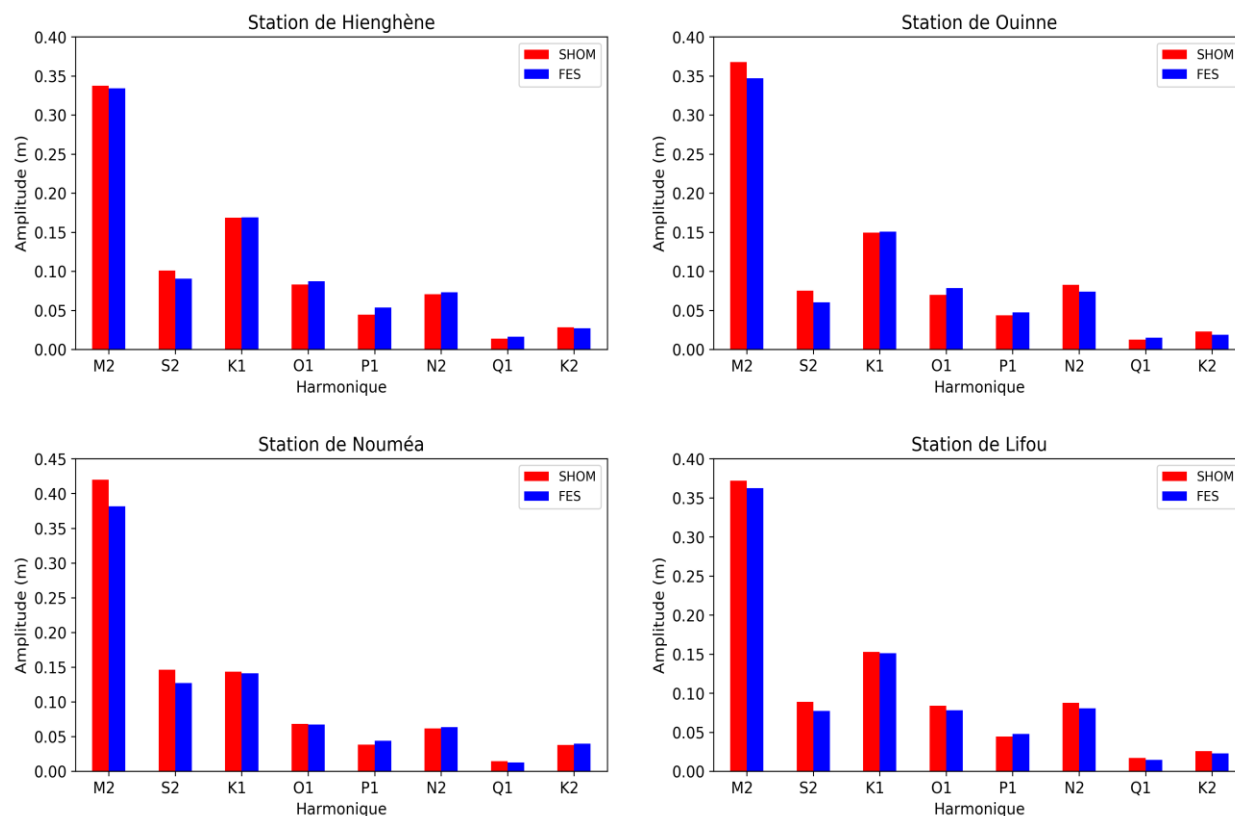


Figure 5 : Comparaison des amplitudes des harmoniques principales FES2012 versus marégraphes SHOM

L'analyse harmonique des composantes principales montre une bonne cohérence des valeurs FES2012 par rapport aux marégraphes. Globalement, FES2012 a tendance à sous-estimer légèrement l'amplitude des ondes principales semi-diurnes (M2 et S2). Sur la côte ouest, l'amplitude de S2 est quasiment égale à K1 ce qui n'est pas le cas sur la côte est où K1 possède une amplitude correspondant à ~1.5 celle de S2.



La somme des amplitudes des huit ondes principales montre une légère sous-estimation (~ 3 à 6 cm) par le modèle FES2012 hormis pour la station de Hienghène (cf. Tableau 4).

Tableau 4 : Somme des huit amplitudes principales (marégraphes vs FES2012) à chaque station

Station	Nouméa		Ouiné		Hienghène		Lifou	
Données	Marégraphe	FES2012	Marégraphe	FES2012	Marégraphe	FES2012	Marégraphe	FES2012
Somme Amplitude (m)	0.930395	0.877211	0.822907	0.790849	0.846566	0.850184	0.872874	0.834642

2.1.2 Distribution spatiale des ondes majeures.

Comme le montre la Figure 5, 6 composantes possèdent une amplitude supérieure à 5 cm. Les figures ci-après présentent la distribution spatiale des amplitudes et phases de ces 6 harmoniques (M2, S2, K1, O1, P1 et N2) issues de l'atlas FES2012 autour du territoire Calédonien.

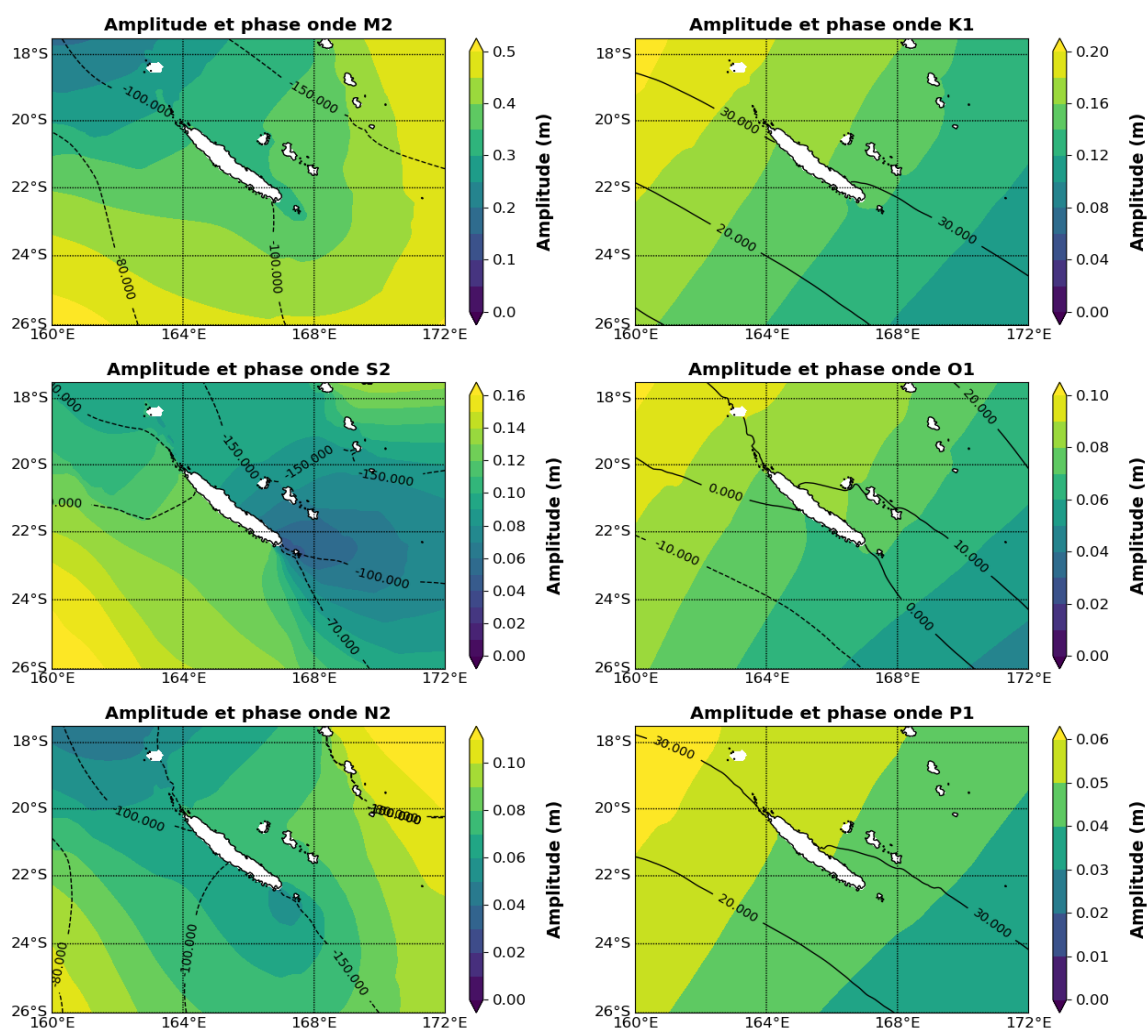


Figure 6 : Distribution spatiale des 6 composantes principales de la marée en Nouvelle-Calédonie (échelle de couleur : amplitude en mètre ; isolignes : phase en degré)

Les ondes diurnes K1, O1 et P1, montrent un gradient d'amplitude décroissante orienté dans l'axe de la Grande Terre avec une diminution vers le sud de l'île (différences allant de 2 à 4 cm selon les ondes). Au contraire, les trois ondes semi-diurnes (M2, S2 et N2) présentent une variabilité entre les côtes est et ouest.

Les amplitudes des ondes M2 et S2 sont plus élevées à l'ouest tandis que pour N2 l'amplitude est environ 2 cm plus élevée sur la côte est.

2.2 Comparaison entre onde de marée observée et prédite

L'objectif de cette partie est de comparer, pour toutes les stations présentées précédemment (cf. Figure 2), la performance de la recomposition harmonique de FES2012 au regard des données in-situ donc de la marée « réelle ». Afin d'homogénéiser ces comparaisons, les diagnostics ont été réalisés sur des périodes similaires de 45 jours comprenant donc trois cycles de vives-eaux / mortes-eaux. Les données d'élévation ont été générées au pas de temps horaire et représentent un total de 1079 pas de temps. Chaque signal de marée issu des capteurs RBR et des marégraphes, au pas de temps horaire, a été confronté aux élévations recomposées depuis l'atlas FES2012 afin de mettre en évidence les amplitudes et occurrences des erreurs de prédiction de marée. Pour les secteurs de Nouméa et Hienghène, les diagnostics ont été réalisés en utilisant les capteurs RBR. A chaque pas de temps i , l'erreur commise par la recomposition FES2012 a donc été calculée comme suit :

$$E_i = FES_i - CAPTEURS_i$$

Des valeurs positives indiqueront donc une surestimation de la valeur prédite par la solution FES recomposée et, au contraire, une erreur négative sera signe d'une sous-estimation des valeurs de niveaux par rapport à la marée mesurée *in-situ*.

Pour chacun des sites, une figure comportant trois graphiques est présentée et comprend :

- En haut, les séries temporelles de marée recomposée (bleu) et observée (rouge) sur les 45 jours. Sur ce graphique, les périodes où les erreurs sont importantes (supérieures ou inférieures à 10 cm) sont mises en évidence respectivement en vert et orange clair.
- En bas, deux graphiques présentent la distribution des erreurs (biais positifs et négatifs, respectivement en vert et orange foncé). Le graphique de gauche montre la distribution des erreurs sur les 45 jours d'analyse. À droite, la courbe représente le cumul du pourcentage de temps (nombre d'occurrence / total) en fonction des erreurs.



2.2.1 Les capteurs marégraphiques

Station de Ouinné

Plage temporelle : du 01-07-2016 00:00:00 à 15-08-2016 22:00:00

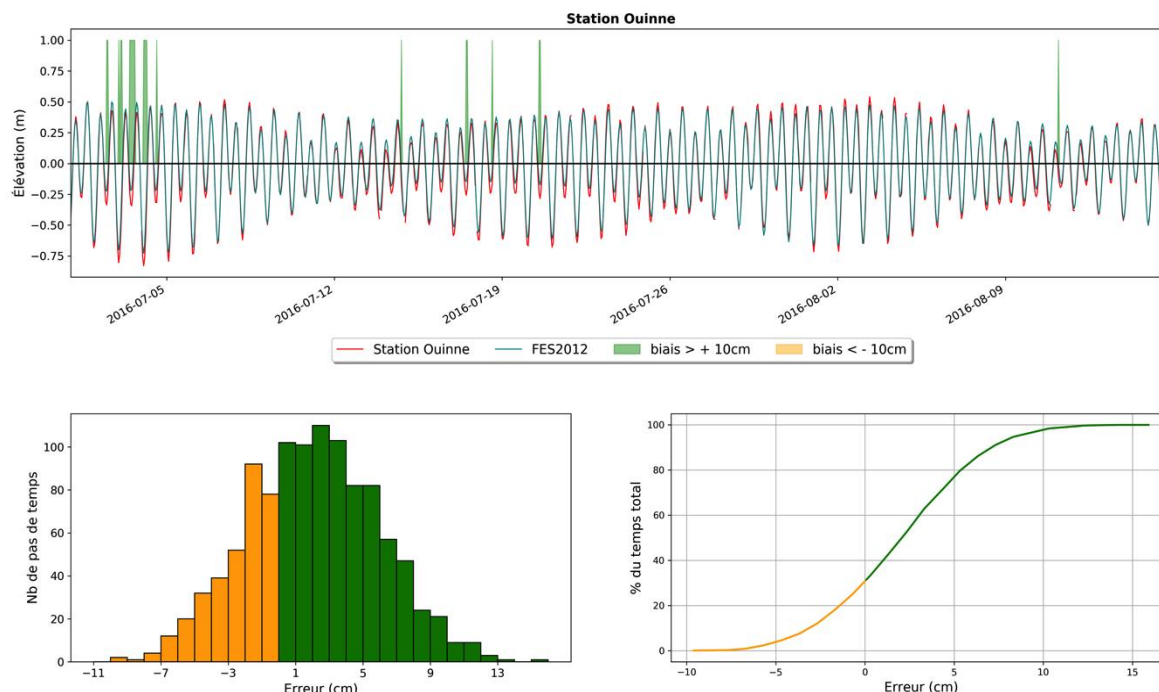


Figure 7 : Marégraphe de Ouinné (côte est)

Concernant la station de Ouinne, les biais importants (> 10 cm) sont presque uniquement liés à des surestimations de la solution FES2012 sur la période de 45 jours. Ces biais semblent apparaître principalement lors de marées de vives-eaux, souvent centrés autour de l'étale de marée basse, et surviennent dans moins de 3% du temps. L'amplitude des erreurs est globalement comprise entre -10 cm et + 16 cm. Les surestimations de l'élévation de marée apparaissent environ 70% du temps, tandis que l'erreur (en valeur absolue) est inférieure à 5 cm pour 73% du temps.

Plage temporelle : du 01-07-2014 00:00:00 au 15-08-2014 22:00:00

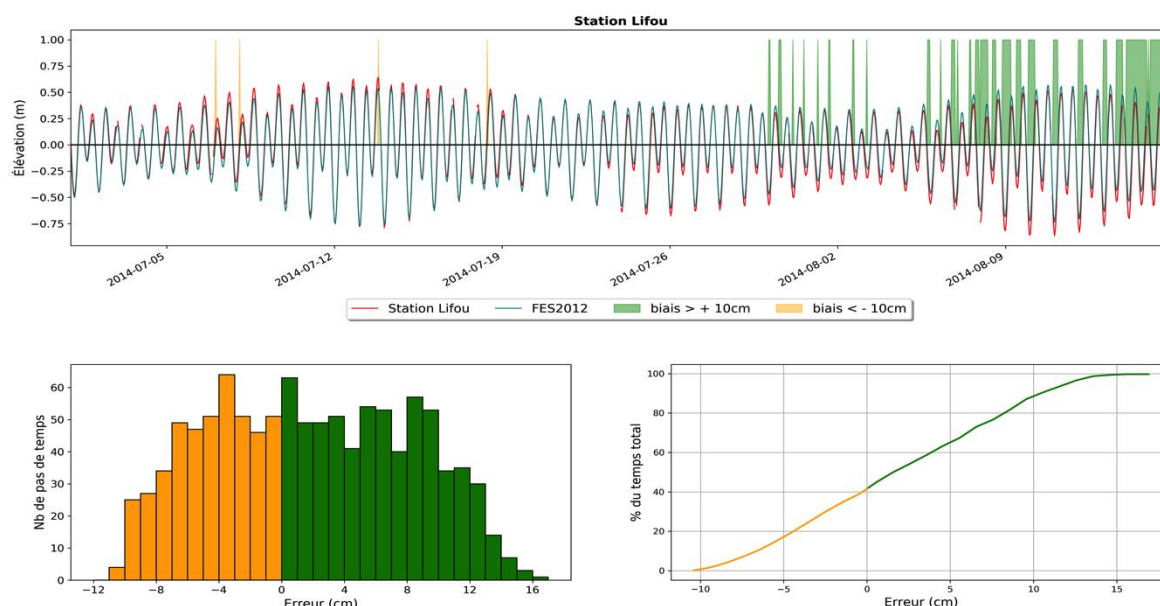


Figure 8 : Marégraphe de Lifou (Îles Loyauté)

L'onde de marée prédite par le modèle au niveau du marégraphe de Lifou possède majoritairement des erreurs supérieures à 10 cm. Ces biais apparaissent principalement en marée de vives-eaux et durant l'étale de basse mer. L'amplitude des biais est comprise entre -11 et +17 cm. Les surestimations représentent 58% du temps de la mesure. Cependant, le nombre d'erreurs absolues surpassant 10 cm est faible puisque qu'elles apparaissent environ 12% du temps.

2.2.2 Les capteurs de pression

Pour mémoire, la position de toutes les stations est présentée sur la Figure 2. Sont présentées ci-dessous quelques figures caractéristiques des différents milieux rencontrés (e.g pentes externes de récif barrière, lagon fermé, etc.). Les graphiques des autres stations sont disponibles en Annexe.





Plage temporelle : du 22-03-2019 00:00:00 au 06-05-2019 22:00:00

Marée Océanique : Station O2

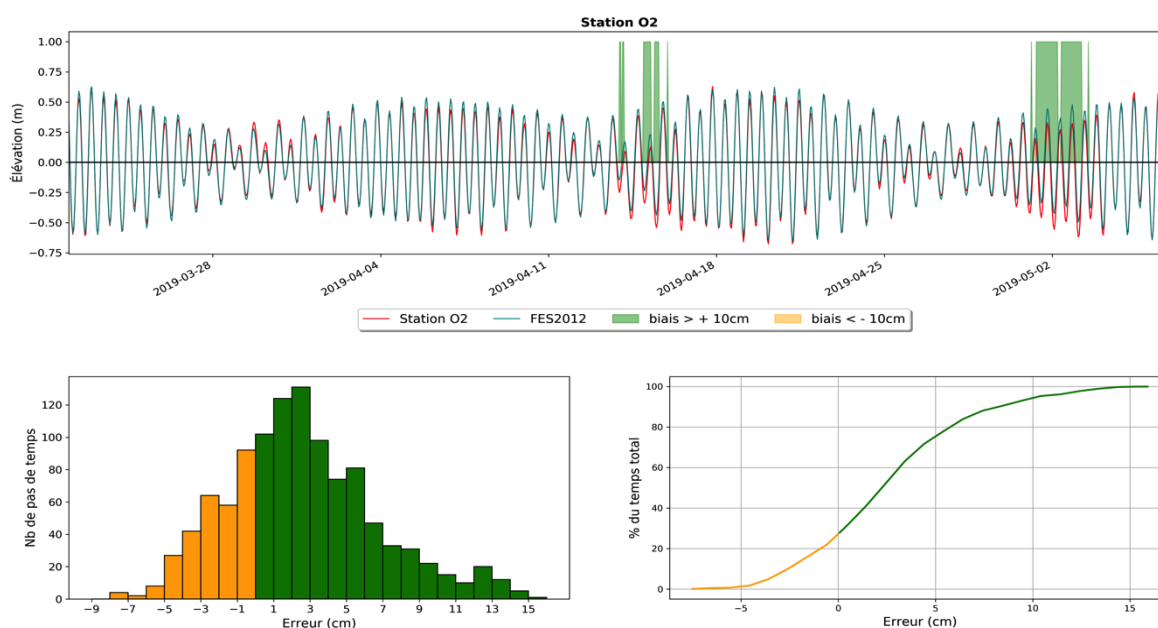


Figure 9 : Station O2 – Pente externe du Lagon de Poé

La station O2, montre uniquement des erreurs strictement supérieures à 10 cm sur les 45 jours de mesure de plus, celles-ci apparaissent de manière quasiment continues pendant plusieurs heures. L'amplitude des biais est globalement comprise entre -8 et +16 cm. La distribution des erreurs est majoritairement surestimée dans plus de 73% du temps. Très peu d'erreurs supérieures à 10 cm sont mesurées et représentent moins de 6% du temps.

Marée dans le lagon de Poé : Station L13

À la station L13 (Figure 10), de nombreuses erreurs (> 10 cm) sont visibles sur la série temporelle. Il semble cependant apparaître moins d'erreurs lors des marées de morte eau de même que les surestimations semblent s'observer majoritairement durant les étales de basse mer. Les sous-estimations du modèle apparaissent pendant une période de temps plus ou moins continue de quelques heures. La gamme d'erreur varie de - 29 à + 27 cm. La majorité des erreurs sont surestimées par FES2012 (55%). De plus, très peu d'élévations mesurent des biais absolus inférieurs à 5cm (30%)

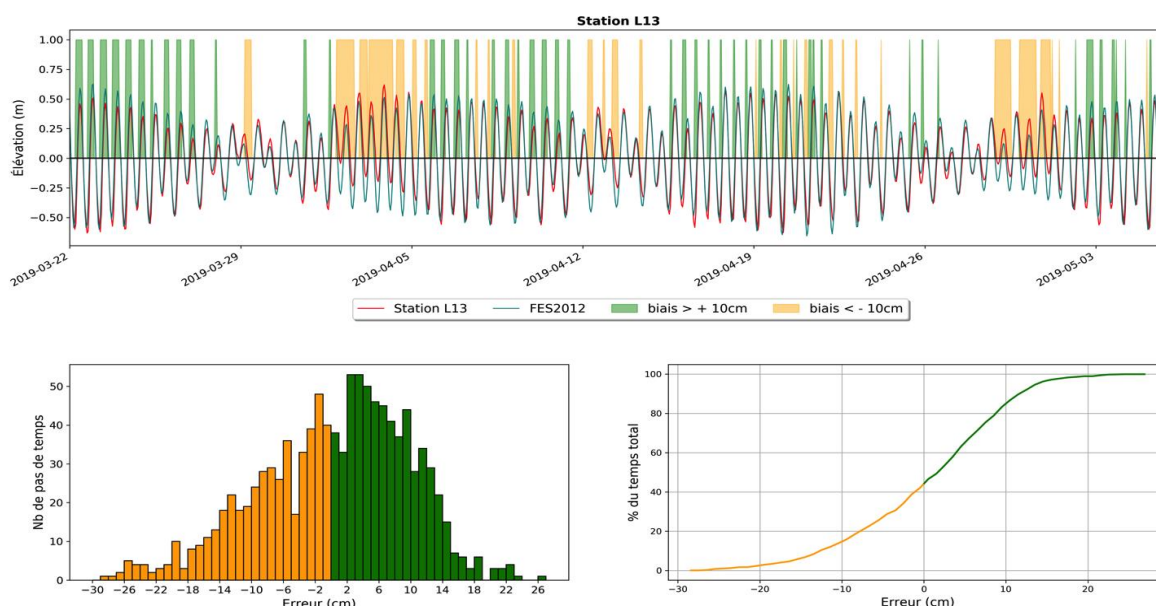


Figure 10 : Station L13 – Lagon de Poé

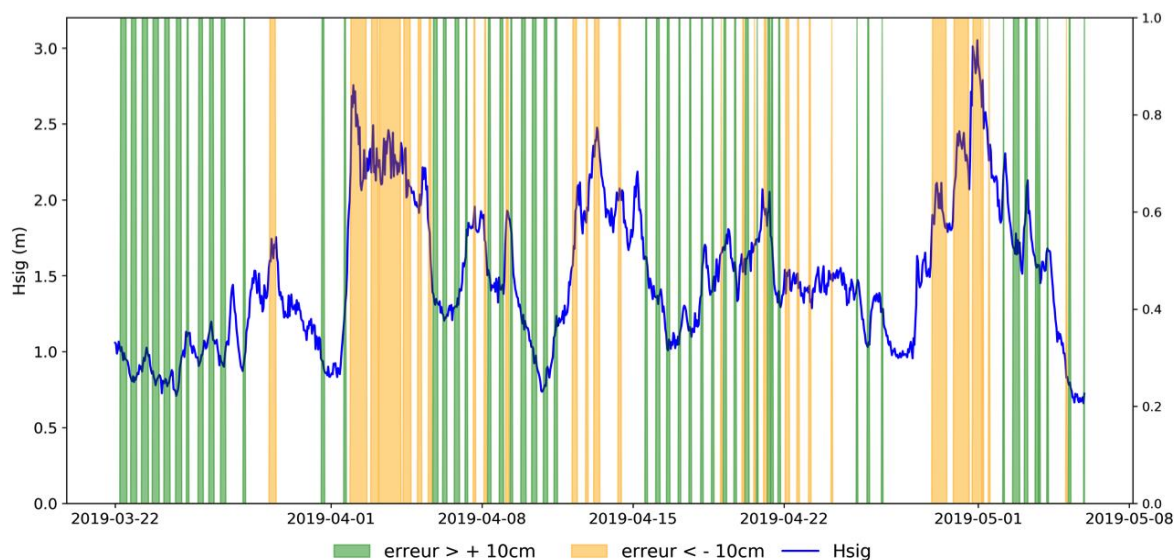


Figure 11: Comparaison des hauteurs significatives de vagues observées à la station O2 (courbe bleue) et des erreurs de niveau d'eau \pm supérieures à 10 cm mesurée à la station L13 (barres vertes et oranges)

La Figure 11 met en évidence une sous-estimation des niveaux d'eau issus de FES2012 lors de période de forte houle océanique. Au contraire des surestimations qui surviennent principalement lorsque la houle est de moindre intensité. De plus, l'association de faible houle et d'un cycle de morte eau n'engendre pas de valeurs au delà du seuil de 10 cm



Baie de Boulari (Lagon du Grand-Nouméa)

Plage temporelle : du 03-01-2017 00:00:00 au 12-02-2017 22:00:00

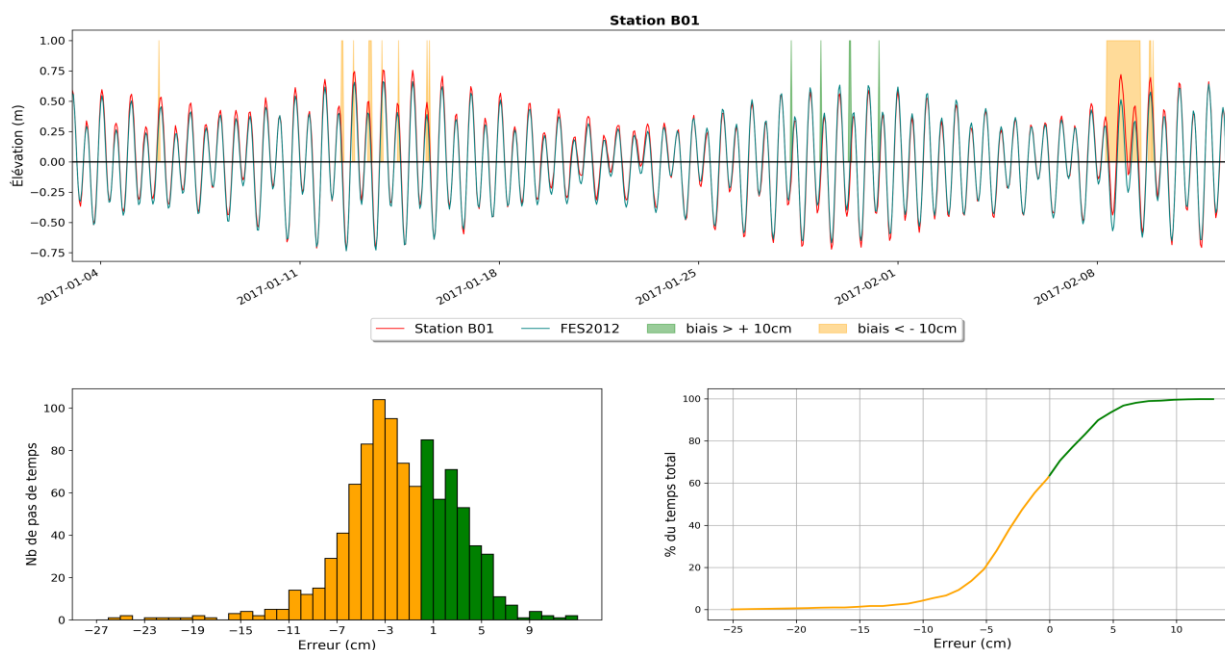


Figure 12 : Station B01 – Baie de Boulari (Grand-Nouméa)

La station B01 montre peu d'erreurs supérieures à 10 cm. Elles s'observent le plus souvent durant les marées de vives-eaux. Contrairement aux sous-estimations, les surestimations apparaissent majoritairement durant l'étale de pleine mer. Les amplitudes d'erreur varient de -26 à +13 cm. Plus de la moitié (63%) des élévations sont sous-estimées par FES2012. Les valeurs extrêmes sont très faibles ce qui induit moins de 40 % des biais supérieurs à 5 cm.

Lagon de Hienghène-Pouébo

Marée dans le lagon : station C07

Sur la période de mesure, la station C07 enregistre de nombreuses erreurs au delà de 10 cm. Cependant les périodes de mortes-eaux semblent être mieux représentées par FES car peu d'erreurs sont observables. Sur la série temporelle, les sous-estimations apparaissent durant les étales de basse mer au contraire des surestimations. Les amplitudes d'erreur varient de -20 à +21 cm. La distribution des erreurs montre quasiment autant de valeurs sous-estimées (53%) que surestimées par FES2012. Enfin, les erreurs absolues inférieures à 10 cm sont nombreuses et représentent environ 88% du temps.

Plage temporelle : du 03-01-2015 00:00:00 au 17-02-2015 22:00:00

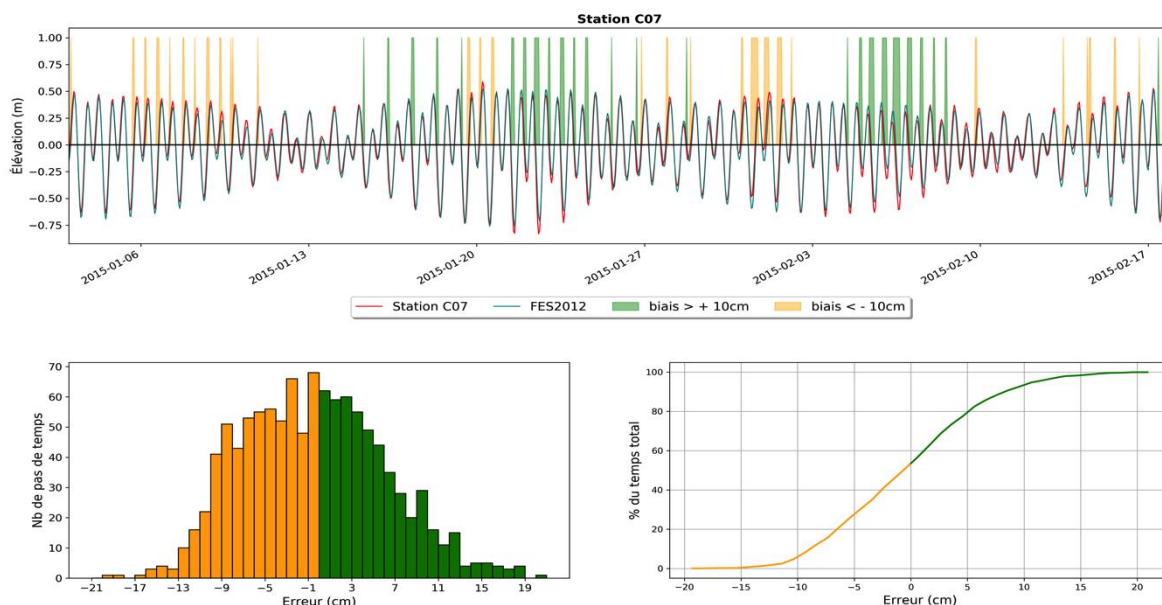


Figure 13 : Station C07 – Lagon de Pouébo

Marée océanique : station C02

Plage temporelle : du 03-01-2016 00:00:00 au 17-02-2016 22:00:00

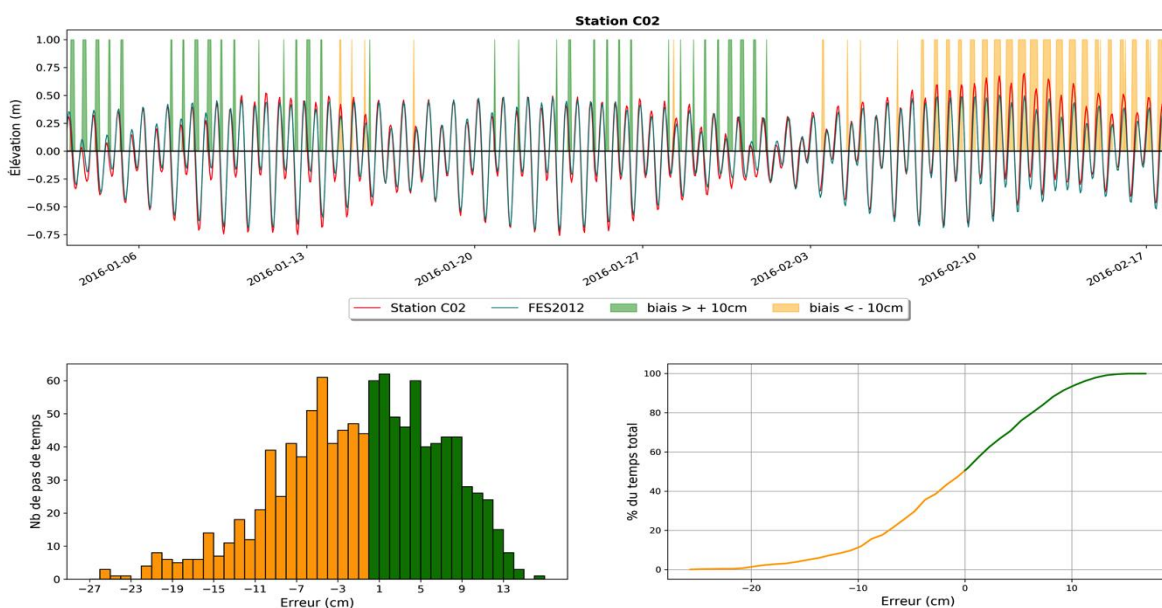


Figure 14 : Station C02 – Pente externe du Lagon de Hienghène

La Station C02, présente de nombreux pas de temps avec des biais supérieurs ou inférieurs à 10 cm, il semblerait pourtant y avoir moins d'erreurs lors des marées de mortes eaux. Sur les 45 jours de mesure, FES2012 a tendance à sous-estimer les élévations durant les étales de basse mer, les surestimations semblent quant à elles dominer à marée haute. Les amplitudes d'erreur varient dans un intervalle de -26 à +17 cm. Aucune dominance des erreurs n'est observée dans la distribution des biais. Enfin, pour 18% du temps, les élévations FES2012 mesurent des erreurs absolues au delà de 10 cm.





Plage temporelle : du 03-01-2020 00:00:00 au 17-02-2020 22:00:00

Marée dans le lagon : station R01

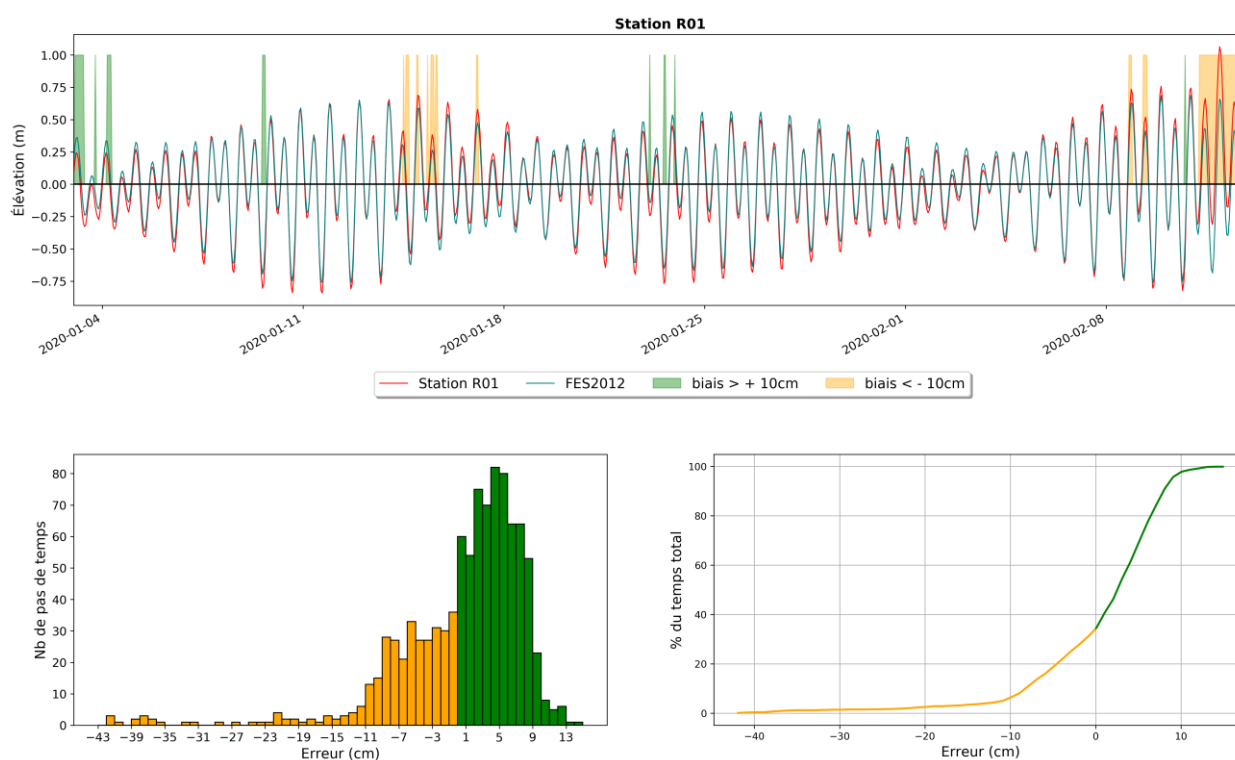


Figure 15 : Station R01 – Trou bleu du Lagon de Koumac

Sur la série temporelle de 45 jours, la station R01 enregistre une minorité d'erreurs dépassant ± 10 cm. Les élévations observées en périodes de mortes-eaux relèvent moins d'erreurs extrêmes que pendant les vives-eaux. Sur la série temporelle, les sous-estimations apparaissent durant les étales de basse mer au contraire des surestimations. Les amplitudes d'erreur sont larges et varient de -42 à $+15$ cm. La distribution cumulée des erreurs montre moins de niveau sous-estimées (38%) mais s'étalent dans une gamme de valeur large (0 à -42 cm). Enfin, les erreurs absolues inférieures à 10 cm sont nettement majoritaires et représentent environ 91% du temps.

Marée océanique : pente externe, station R03

La station R03 (Figure 16) montre peu de données supérieures à 10 cm, les erreurs extrêmes s'observent le plus souvent durant les marées de vives-eaux. Les surestimations apparaissent majoritairement durant l'étale de pleine mer au contraire des sous-estimations. Les amplitudes d'erreur sont larges avec des proportions faibles aux extrêmes (-37 à $+17$ cm). Environ 42% des niveaux d'eau sont sous-estimés par FES2012. La majorité des biais (93%) sont strictement concentrées en deçà de 10 cm d'erreur.

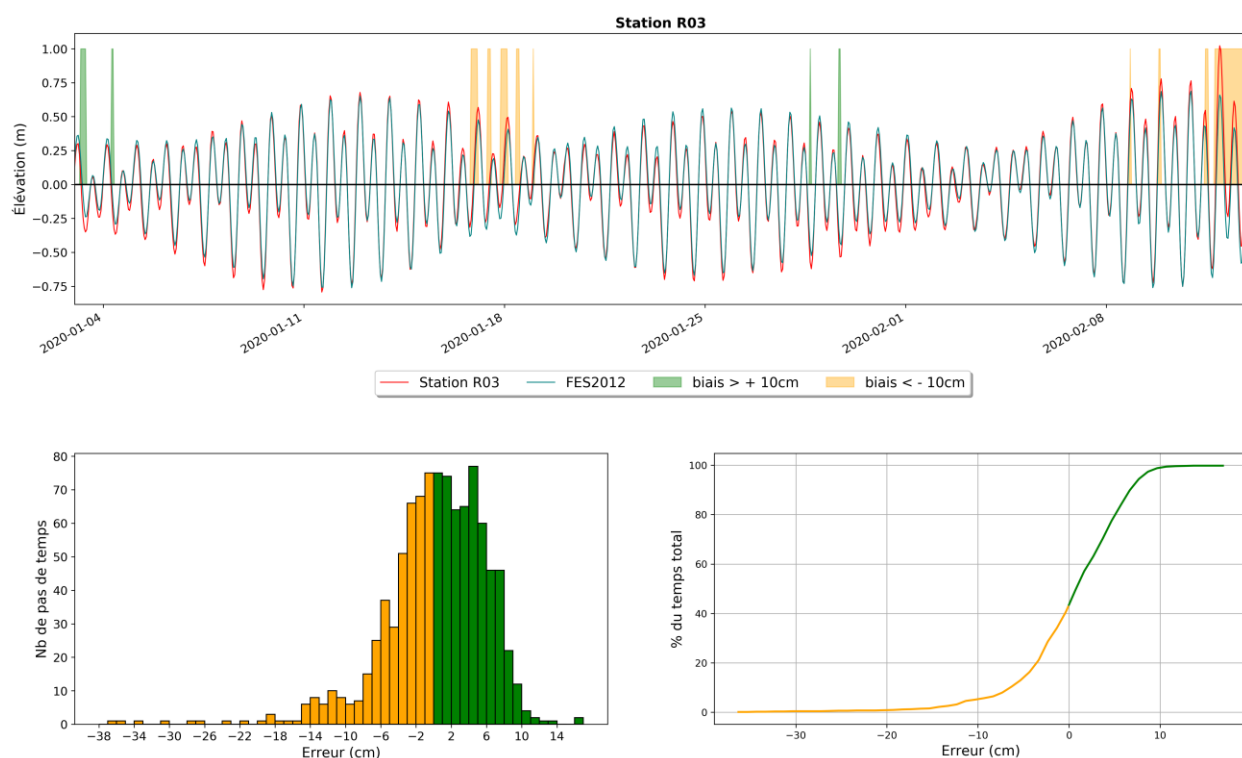


Figure 16 : Station R03 – Pente externe du Lagon de Koumac

Biais absolu

Les biais absolus cumulés ont été calculés par tranche de 5 cm et informent ainsi sur le pourcentage de valeurs inférieures ou égales à ces catégories sur la durée du diagnostique de 45 jours (cf Tableau 5).

Tableau 5 : Erreurs absolues calculées pour les stations des capteurs RBR et marégraphes

Station	Description	% Erreur ≤ 1cm	% Erreur ≤ 5cm	% Erreur ≤ 10cm	% Erreur ≤ 15cm	% Erreur ≤ 20cm
Capteurs de pression						
D01	Lagon Dumbéa	13.530	63.479	92.878	98.575	99.287
B01	Lagon Boulari	15.055	73.245	95.116	98.677	99.389
L13	Lagon Poé	7.228	34.442	70.435	90.639	96.478
O1	Océan Poé	16.863	72.620	94.197	99.728	100.000
O2	Océan Poé	17.588	73.617	94.288	99.909	100.000
C02	Océan Hienghène	9.428	46.690	81.867	95.013	98.458
C05	Océan Hienghène	10.426	43.608	80.145	96.464	99.546
C07	Lagon Pouébo	11.786	52.130	88.304	97.914	99.909
R01	Lagon Koumac	9.766	50.050	91.556	96.5412	97.456
R03	Océan Koumac	15.259	65.513	93.591	98.270	99.186



A01	Lagon Koumac	14.140	63.784	93.692	98.270	98.880
Marégraphes						
Ouiné	Lagon Côte Est	16.605	72.970	97.878	99.907	100.000
Lifou	« Océan » Loyautés	10.526	47.645	88.180	99.630	100.000

D'après les résultats obtenus dans le tableau ci dessus, 96 à 100% des erreurs commises par FES2012 sont inférieures à 20 cm et ce, peu importe la zone géographique des mesures. Globalement, en considérant un seuil d'erreur inférieur à 10 cm, les prédictions (océaniques et lagunaires) montrent de meilleurs résultats sur la côte ouest. Deux stations semblent cependant ne pas suivre cette tendance : la station de Ouiné et le lagon de Poé. En effet, la station L13 enregistre plus de 30% du temps des erreurs supérieures ou inférieures à 10 cm contrairement à Ouiné qui en enregistrent moins de 3% du temps.

2.2.3 Estimation du déphasage temporel de l'onde FES

Pour cette partie, le pas de temps de sortie des élévations a été abaissé à 1 minute permettant ainsi d'affiner la quantification du déphasage entre les deux ondes de marée prédite et observée. Le déphasage moyen sur la période de 45 jours a été calculé en réalisant la corrélation croisée entre les deux signaux de marée (fonction python xcorr). Le Tableau 6 ci-contre présente ces déphasages moyens, calculés sur les stations PRESENCE. Un déphasage positif indique que la prédiction FES2012 est en avance par rapport au signal de marée réel.

Le déphasage moyen calculé entre les deux signaux de marée montre globalement que les ondes FES2012 prédites pour les sites de la côte ouest avance par rapport au capteur RBR, le contraire est observé sur la côte est.

La station L13 présente le déphasage le plus important (+23 minutes) contrairement aux stations océaniques O1 et O2 (+5 minutes).

Tableau 6 : Déphasage moyen (minute) entre l'onde prédite par FES2012 et l'onde observée par le capteur de pression

Station	Côte	Déphasage
D01	Ouest	+9 minutes
B01	Ouest	+7 minutes
L13	Ouest	+23 minutes
O1	Ouest	+5 minutes
O2	Ouest	+5 minutes
C02	Est	-14 minutes
C05	Est	-17 minutes
C07	Est	-17 minutes
R01	Ouest	+4 minutes
R03	Ouest	-3 minutes
A01	Ouest	+3 minutes

3 DISCUSSION

Les recompositions harmoniques issues de FES2012 ont été réalisées et comparées avec des observations de marée sur plusieurs zones de la Grande Terre possédant chacune des caractéristiques propres. Ce rapport a permis pour chaque site de quantifier les erreurs commises en termes d'amplitude et de déphasage, ainsi que la distribution de ces erreurs.

Dans le cadre de ce rapport les diagnostics ont été réalisés sur deux types de milieux :

- Les milieux lagunaires : s'appliquent aux stations situées à l'intérieur de la barrière de corail (L13, B01, D01, C07, R01, A01 et Ouinné).
- Les milieux océaniques : concernent les capteurs situés sur la pente externe des récifs barrières (O1, O2, C02, C05, Lifou et R03).

3.1 Erreurs d'amplitude

Globalement, tous secteurs confondus, les erreurs d'amplitude sont comprises entre -29 cm et +26 cm. Les biais inférieurs à 5 cm représentent entre 34 et 73% des valeurs totales sur la période de mesure. Les erreurs issues de la recomposition harmonique semblent très site-dépendant avec des erreurs plus importantes dans les lagons fermés (e.g lagon de Poé), comparativement au milieu océanique (i.e. pentes externes).

Les stations situées en zone océanique mettent en évidence des erreurs allant de -26 à +17 cm. Cependant des disparités est-ouest sont observées puisque les stations O1 et O2 présentent des amplitudes d'erreurs moindres (O2 amplitude de -9cm à +16 cm) par rapport aux stations de la côte est (C02 amplitude de -26 à +17 cm). De plus, les stations de la côte ouest possèdent beaucoup moins d'erreurs que la côte est (hormis Ouinné). Par exemple, les valeurs de niveaux inférieurs à 5 cm représentent environ 70% du temps sur la côte ouest (O1 : 72% < 5cm) alors que la côte est montre des erreurs plus fréquentes (C05 : 43% du temps < 5cm).

La mise en évidence de différence est/ouest ne semble cependant pas se reproduire pour une configuration nord/sud de l'île. Les sites de Koumac et du Grand Nouméa possèdent tout deux une configuration similaire avec une gamme d'erreur négative large (e.g B01 et R01) ainsi que des erreurs strictement inférieures à 10 cm représentant 92 à 95 % des biais totaux (cf. Tableau 5).

Les sites d'étude lagunaires présentent une gamme d'erreur plus large que les milieux océaniques (-29 à +26 cm). Les différences d'amplitude d'erreur entre les lagons est et ouest sont quasiment similaires (e.g C07 : erreur de -20 à +21 cm – D01 : erreur de -27 à +13 cm). Cependant, on observe des disparités d'erreur en fonction du degré d'ouverture du milieu. L'exemple de la Station L13, située proche de la côte et en milieu lagunaire fermé enregistre des biais avec des amplitudes très large (-29 à +26 cm). Cependant d'autres sites situés en milieu lagunaire plus ouvert possèdent des gammes plus restreintes (e.g B01 : -20 à +13 cm). Ceci est également remarquable lorsque l'on observe les erreurs en fonction du nombre de pas de temps. On peut notamment observer que les stations en milieu fermé montrent beaucoup de biais supérieurs à 5 cm (e.g L13 : plus de 70% du temps > 5 cm) alors qu'en milieu ouvert telle que la station B01 ou Ouinne, les élévations FES2012 seront dans les trois quarts du temps (~70%) inférieures à 5 cm ce qui est similaire aux stations océaniques de la côte ouest.

3.2 Déphasage

De manière générale, il a été mis en évidence un déphasage moyen de l'onde FES2012 par rapport aux observations compris entre -17 minutes et +23 minutes. Le retard ou l'avance de l'onde FES2012 apparaît contrasté entre les deux côtes. En effet, sur la côte ouest tous les sites montrent des déphasages positifs (e.g D01 : +9 minutes) alors que pour la côte est l'onde prédite est pour chaque station en retard (e.g C05 : -17 minutes). Pour un même type de milieu, on observe également des disparités puisque les stations océaniques n'enregistrent pas les mêmes tendances. Par exemple, la station O2 possède un déphasage très minime de + 5 minutes, alors que le temps de déphasage des stations océaniques de la côte est est de l'ordre de -14 à -17 minutes.

Pour les milieux lagunaires, les amplitudes de déphasage sont comprises entre -17 et +23 minutes. Même constat que pour le milieu océanique, les ondes prédites par le modèle sur la côte est présentent un déphasage négatif (e.g C07 : -17 minutes) au contraire des sites de la côte ouest (e.g L13 : +23 minutes). Pour ce paramètre, le degré d'ouverture du lagon semble encore intervenir puisque les lagons ouverts du Grand-Nouméa et de Koumac enregistrent des intervalles de temps moindre entre les deux signaux (e.g B01 : +7 minutes – A01 : +3 minutes) contrairement au lagon de Poé (e.g L13 : +23 minutes).



CONCLUSION : IMPLICATIONS POUR L'ACQUISITION DE DONNÉES

Les erreurs d'élévations issues du produit FES2012 peuvent être fonction de différents paramètres. Tout d'abord, une imprécision de la bathymétrie à l'intérieur du lagon Calédonien induite par la faible résolution du modèle (7 km) pourrait expliquer les différences observées entre les stations océaniques et lagonaires. En effet, en fonction des caractéristiques des lagons, la donnée bathymétrique ne peut être représentative du milieu (e.g la taille du lagon de Poé de la côte au récif \approx 2 km). Les variations morphologiques du fond induisent également une déformation de l'onde amplifiant le signal de marée (amplitude et phase) ce qui accentue les différences entre les deux types de milieu. À l'intérieur des lagons, le degré d'ouverture de celui-ci agit sur la déformation de l'onde puisque moins d'erreurs sont remarquables lorsque le lagon est ouvert sur l'océan (e.g Ouinné) au contraire d'un lagon peu profond et fermé par un récif barrière (e.g L13). Enfin, le produit FES2012 ne prenant pas en considération les phénomènes météo-océaniques, l'association de fortes houles et des variations de la pression atmosphérique pourront générer des surcotes (cf. Figure 11) ce qui aura tendance à aboutir à une sous estimation des élévations recomposées par le modèle.

Suite à l'analyse de la pertinence de la solution FES2012 sur les lagons calédoniens au regard d'observations de niveaux, quelques grandes caractéristiques semblent se dégager.

1. La marée océanique est prédite de façon plus fiable que la marée lagonaire en termes d'amplitude et de phase.
2. La côte ouest (à l'exception du cas du lagon très fermé de Poé) affiche de meilleurs résultats que la côte est que ce soit au niveau des erreurs que du déphasage.
3. Les prédictions sont généralement meilleures en périodes de mortes-eaux et pour des lagons ouverts.
4. Sur les périodes de 45 jours étudiées, il semble se produire moins d'erreurs importantes lorsque la marée est prédite pendant les marées de mortes-eaux. Généralement, il ressort également que lors du flot (marée montante) la solution FES semble sous-estimer le signal de niveau, à contrario du jusant.
5. Globalement pour les lagons, des périodes de faibles houles océaniques sont plus propices à une bonne représentation des variations de niveaux.

BIBLIOGRAPHIE

Carrère L., F. Lyard, M. Cancet, A. Guillot, L. Roblou, FES2012: A new global tidal model taking taking advantage of nearly 20 years of altimetry, Proceedings of meeting "20 Years of Altimetry", Venice 2012.

Desclaux, T., Hubert, C., Le Tesson, E., Lemonnier, H., Royer, F., Soulard, B., Schohn, T., Le Gendre, R. Rapport de campagne – Devenir des apports terrigènes autour du Grand Nouméa (Décembre 2016 – Avril 2017) - DOI 00428/53974/

Douillet, P. (1998). Tidal dynamics of the south-west lagoon of New Caledonia: observations and 2D numerical modelling. *Oceanologica Acta*, 21(1), 69-79.

Foreman, M. G. G. (1977). Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction. Pacific Marine Science Report. 77-10. Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, 58 pp. British Columbia, Canada.

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. - Lien Archiver

Lyard, F., Lefevre, F., Letellier, T. et al. Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004. *Ocean Dynamics* 56, 394-415 (2006).

Simon, B., (2007). La marée océanique côtière. Coédition de l'Institut Océanographique et du SHOM, 433 p.

ANNEXES

Plage temporelle : du 03-01-2017 00:00:00 au 17-02-2017 22:00:00

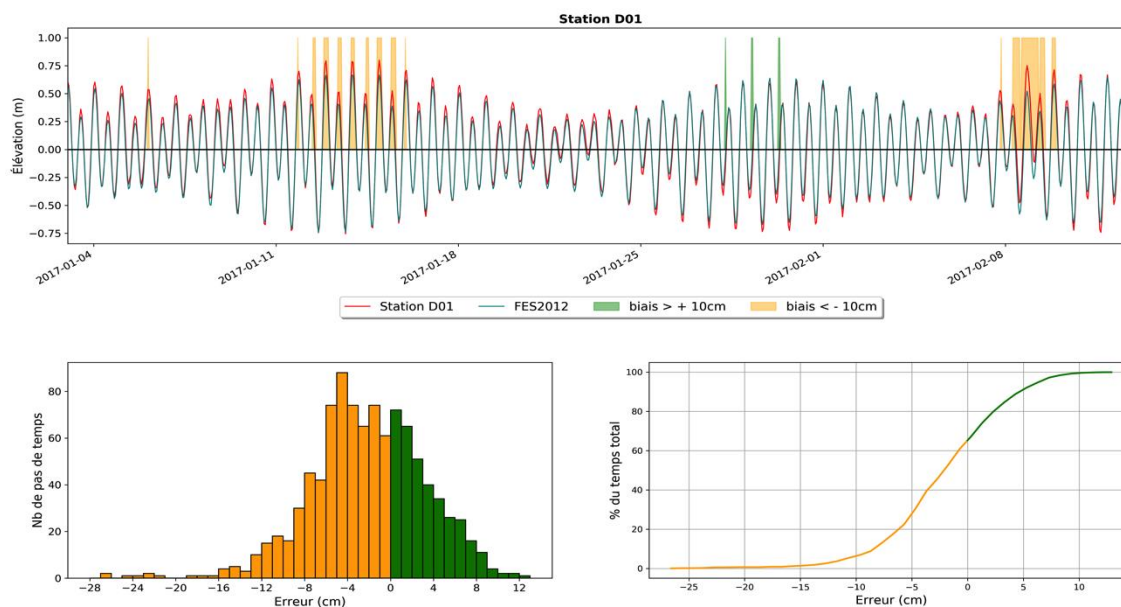


Figure 17 : Station D01 – Baie de Dumbéa – (Grand-Nouméa)

Plage temporelle : du 22-03-2019 00:00:00 au 06-05-2019 22:00:00

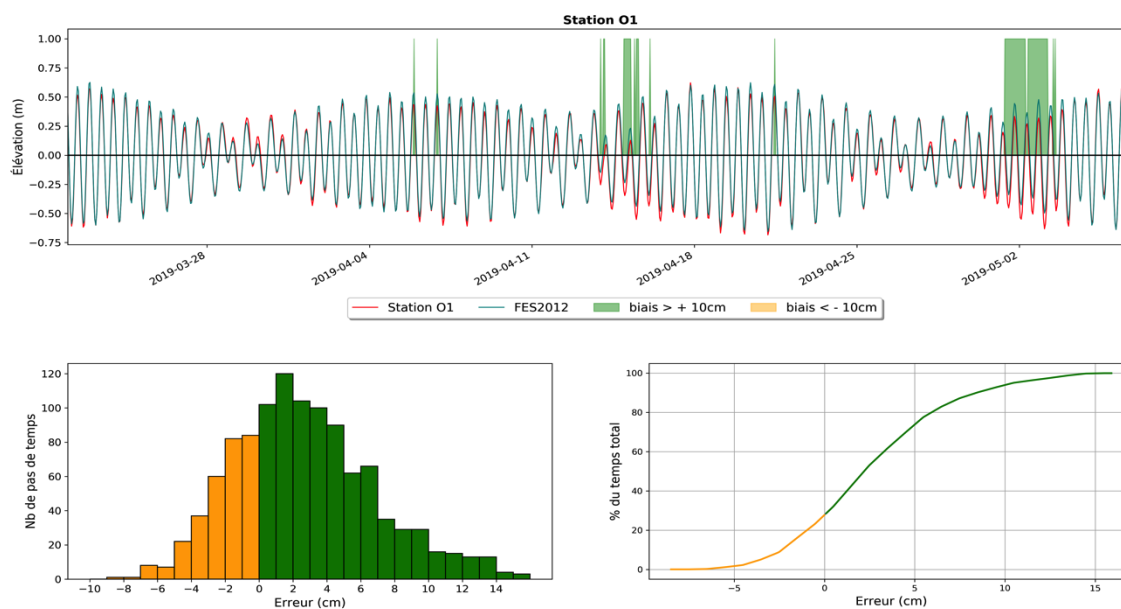


Figure 18 : Station O1 – Pente externe du Lagon de Poé

Plage temporelle : du 03-01-2016 00:00:00 au 17-02-2016 22:00:00

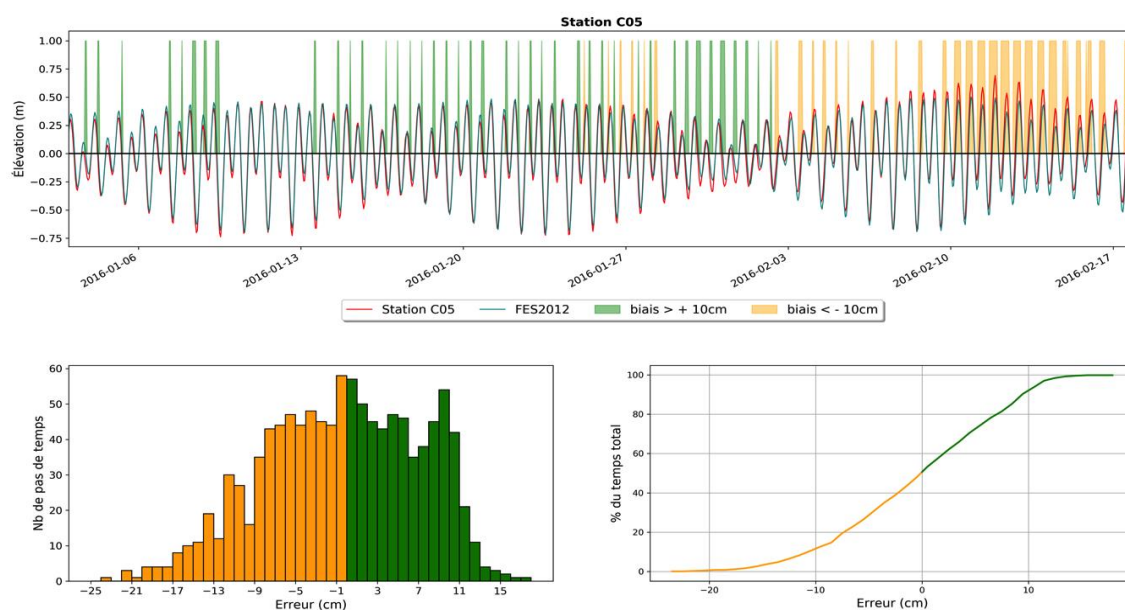


Figure 19 : Station C05 – Pente externe du Lagon Hienghène

Plage temporelle : du 03-01-2020 00:00:00 au 17-02-2020 22:00:00

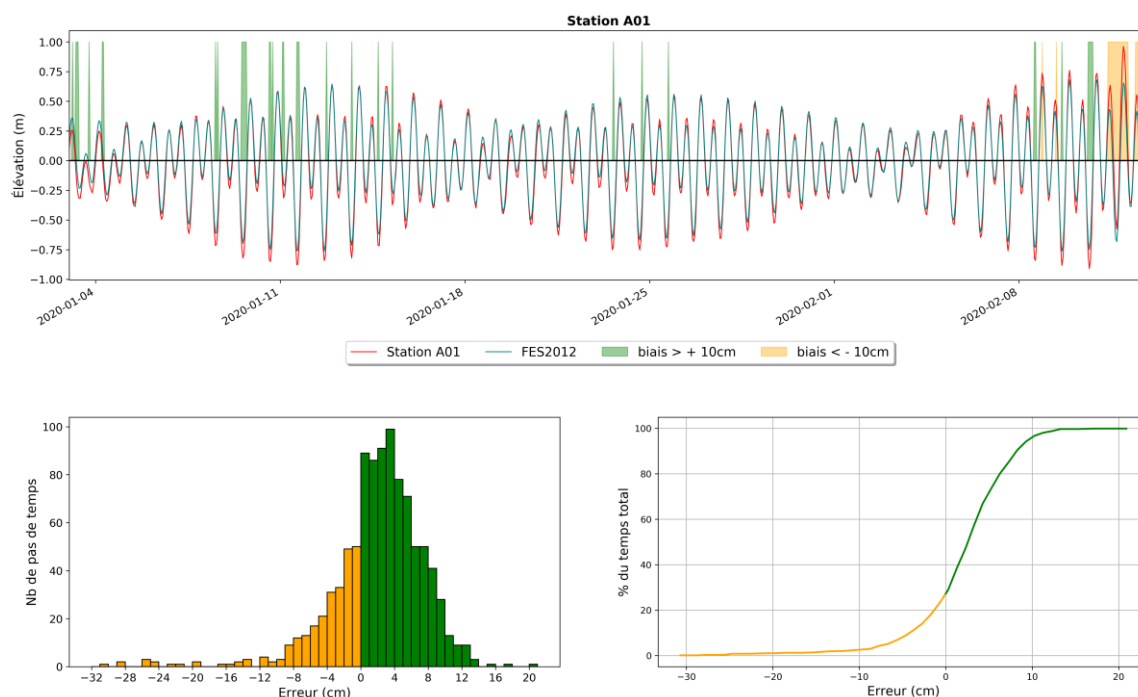


Figure 20 : Station A01 – Lagon de Koumac

