

Différences entre la libfes de CLS/AVISO et les SiROcCô Tools et impact en altimétrie

Damien Allain, Florent Lyard et Loren Carrère

2021

Table des matières

1	Introduction	1
2	Différences entre la libfes de CLS/AVISO et les SiROcCô Tools du LEGOS	1
2.1	Contexte et différences	1
2.2	Explications	5
2.2.1	Différences d’admittances	5
2.2.2	Longues périodes	6
2.3	Solutions à venir	6
3	Impact en altimétrie	6
3.1	Mission de test et résultats	6
3.2	Explications	7
3.2.1	Erreurs d’interpolation	7
3.2.2	Covariance entre la SSHA et les différences de corrections	7

1 Introduction

Le nouvel atlas de marée globales FES2014 a été publié [Lyard et al., 2021] mais des différences apparaissent entre les corrections du GDR effectuée par CLS/AVISO avec la libfes et les corrections effectuée au LEGOS avec les SiROcCô Tools. Les différences entre la libfes et les SiROcCô Tools sont détaillées dans la section 2 ; leur impact sur l’altimétrie, dans la section 3.

2 Différences entre la libfes de CLS/AVISO et les SiROcCô Tools du LEGOS

Cette section fait référence aux Rapports d’Avancement (RA) du projet FESDAC2017 pour le contrat CLS n°SALP-BC-M-EA-22496-CLS et le contrat CNES n°4500050513 / DCT091.

Le contexte et les différences sont détaillés dans la section 2.1, les différences sont expliquées dans la section 2.2 et une date de solution est donnée dans la section 2.3.

2.1 Contexte et différences

Dans le cadre de mes recherches dans le cadre du projet FESDAC2017, j’ai remarqué de faibles différences entre les prédictions de marées de la libfes de CLS/AVISO et les prédictions de marées des SiROcCô Tools. J’ai alors relu Schureman [1940, en particulier la Tab. 2, pp. 164-165] et la Table 1 de la thèse de Le Provost.

Il faut noter que j’ai remarqué une erreur assez grossière au niveau de la prédiction de l’onde (faible) M1 que j’ai réglée (sec 2.1 du RA de déc 2018 et correction 3652:580be99ccd34 du 19 oct 2018 dans les Tools). De plus, avec l’intégration de l’onde M0 (sec 2.2.2 du RA de juin 2019 et correction 3710:adecaabf56a8 du 1 fév 2019 dans les Tools), la prédiction des marées inter-annuelles (essentiellement Oméga1 à 18.6 ans) a enfin été possible, évitant des erreurs dans les évaluation des tendances long terme du niveau de la mer.

J'ai aussi rajouté des ondes longues périodes qui avaient été négligées jusque là du fait de leur faiblesse. D'autres faibles différences persistent, comme le montre les figures 1, 2 et 3.

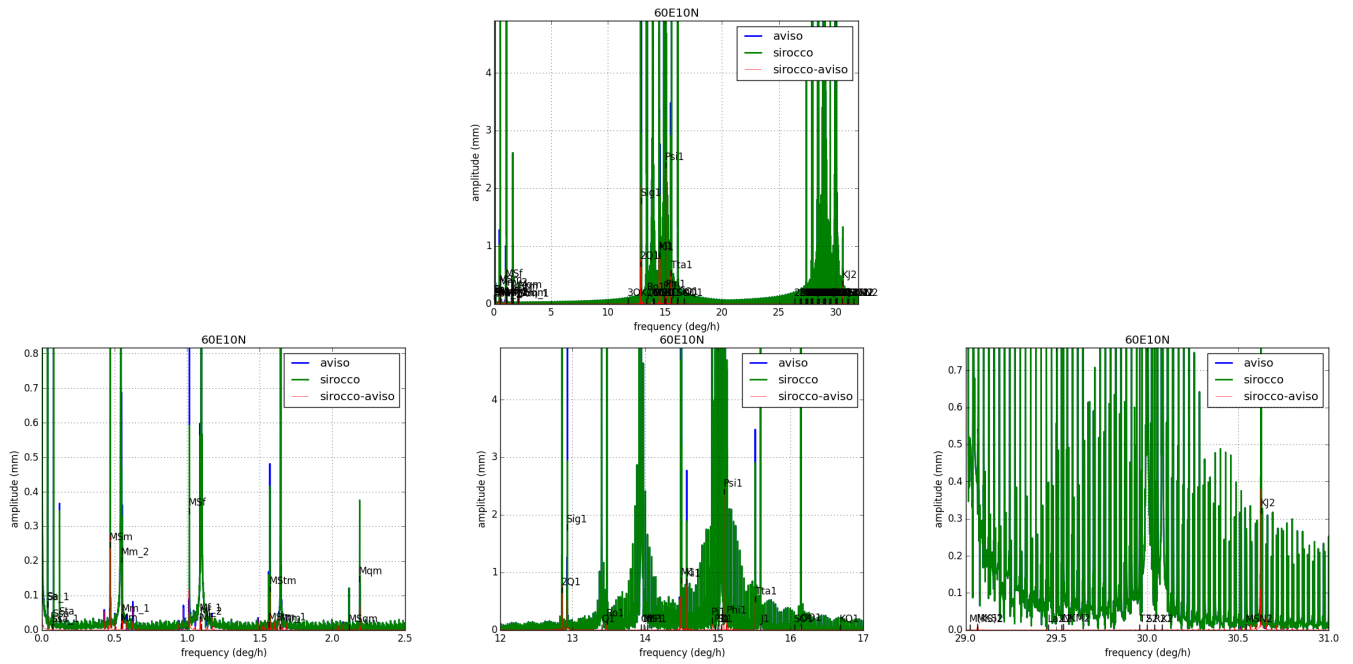


FIGURE 1 – FFT des prédictions SiROcCô et AVISO avec la différence : zoom longues périodes, diurnes et semi-diurnes

La plupart des différences font quelques $10^{\text{ème}}$ de mm, à part Sig1 et Psi1 (figure 3) qui font autour de 2mm. Ces différences sont en parties expliquées dans la section 2.2.

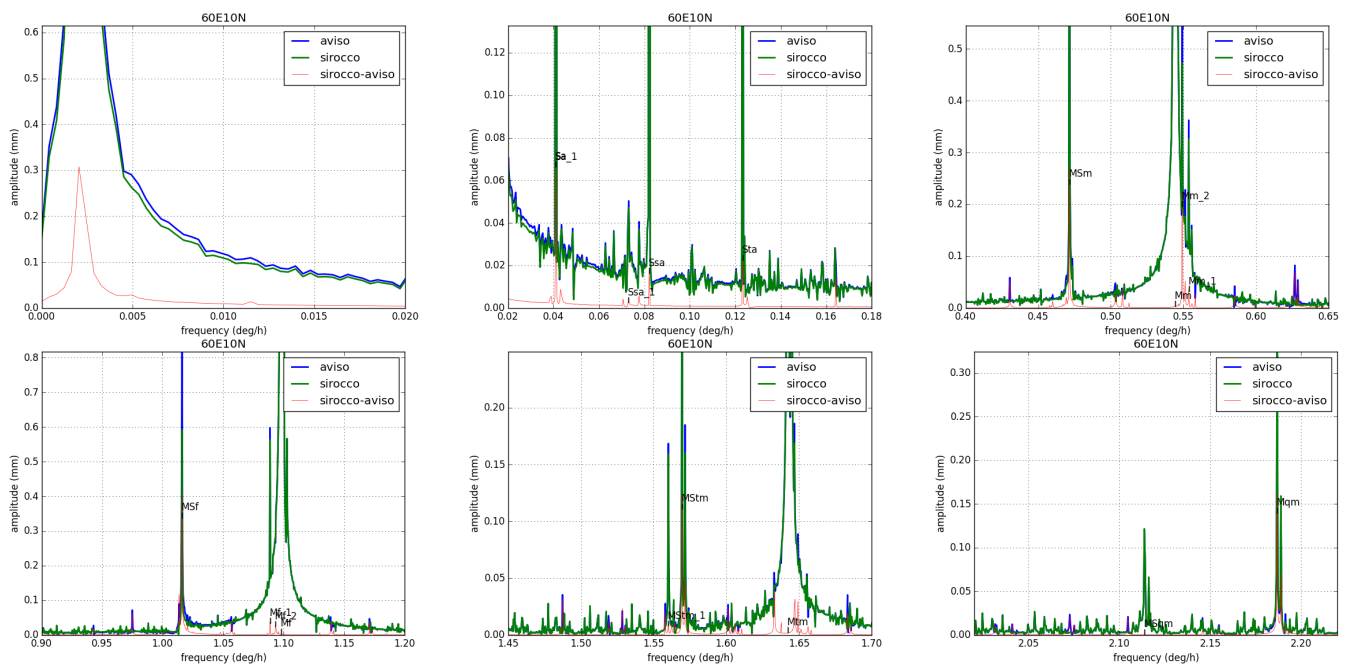


FIGURE 2 – FFT des prédictions SiROcCò et AVISO avec la différence : zoom Oméga, annuel, mensuel, semi-mensuel, tiers-mensuel, quart-mensuel

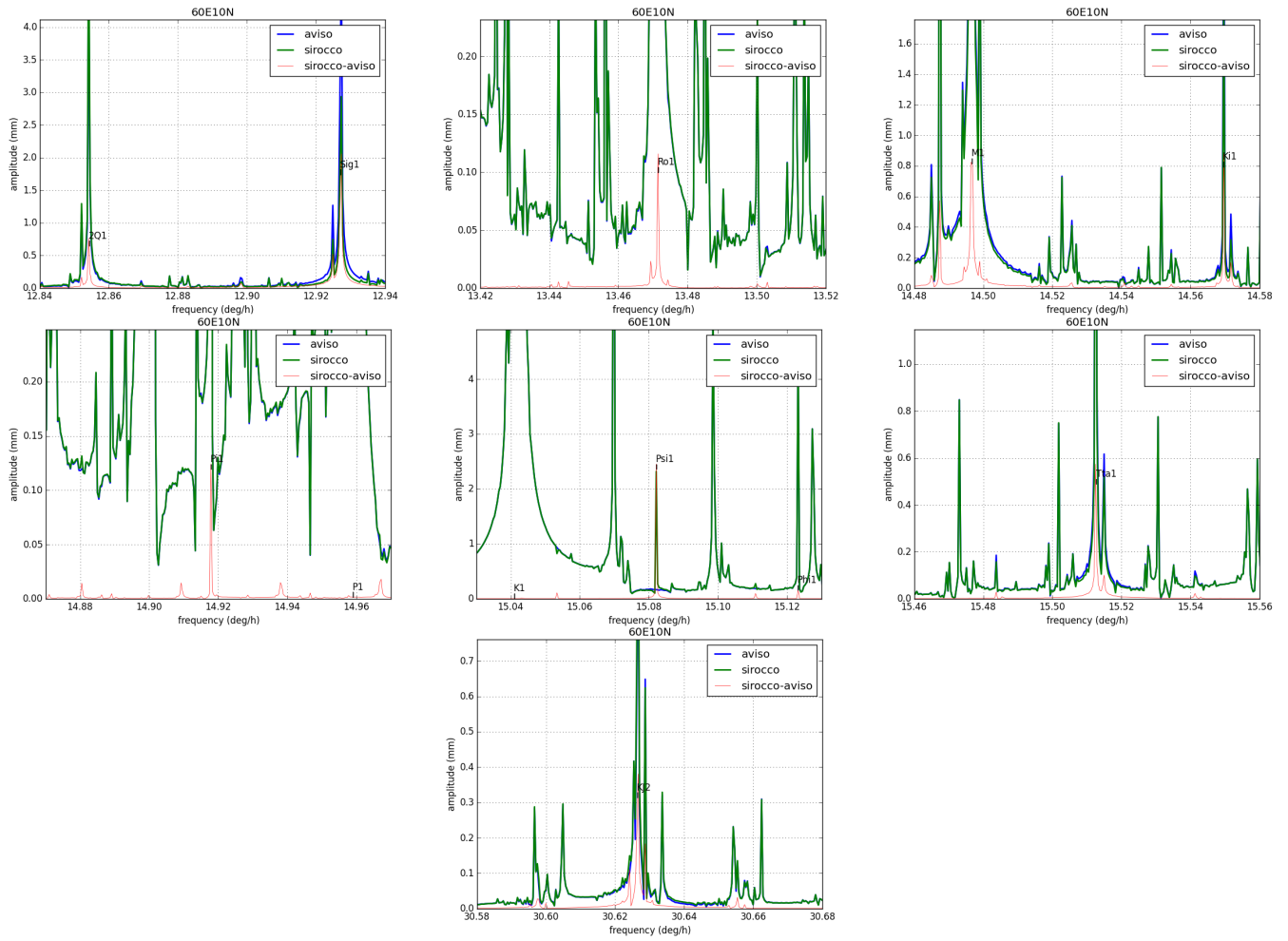


FIGURE 3 – FFT des prédictions SiROcCò et AVISO avec la différence : zoom 2Q1+Sig1, Ro1, M1+Ki1, P1, Psi1+Phi1, Tta1, KJ2

2.2 Explications

Il reste essentiellement de faibles différences au niveau des admittances de certaines ondes diurnes et semi-diurnes (section 2.2.1) et au niveau des prédictions longues périodes (section 2.2.2).

2.2.1 Différences d'admittances

Les formules d'admittances sont :

- calculées en fonction des fréquences des ondes dans les SiROcCò Tools
- et codées en dur dans la libfes.

La table 1 montre les fréquences, l'amplitude du potentiel et, pour les ondes de faible amplitude, les formules d'admittances. Les SiROcCò Tools peuvent faire des admittances linéaires et spline et peuvent donc avoir 2 formules. Des erreurs assez grossières sont ainsi révélées dans les formules de Sig1, Ki1, Tta1 et KJ2. De plus, la libfes attend un atlas pour la faible onde Psi1, qui n'est pas donné par FES2014, et donc ne prend pas en compte cette onde dans ses prédictions.

onde	fréquence (deg/h)	potentiel (cm)	SiROcCò	AVISO
2Q1	12.854	0.2587	+0.323374 Q1 -0.045962 O1 +0.00645842 K1 +0.265756 Q1 -0.0257226 O1	+0.263 Q1 -0.0252 O1
Sig1	12.927	0.1627	+0.186075 Q1 -0.0244925 O1 +0.00330489 K1 +0.155953 Q1 -0.0140123 O1	+0.297 Q1 -0.0264 O1
Q1	13.399	1.9469		
Ro1	13.472	0.3787	-0.162502 Q1 +0.00699684 O1 -0.000568574 K1 +0.168483 Q1 +0.00503926 O1	+0.164 Q1 +0.0048 O1
O1	13.943	10.0573		
M1,1		0.2774	+0.0136744 O1 +0.0098861 K1	+0.0140 O1 + 0.0101 K1
M1	14.497	0.8454	-0.157179 Q1 +0.0840583 O1 +0.0216288 K1 +0.0416738 O1 +0.0301288 K1	
M1,2		0.7921	+0.0390464 O1 +0.0282293 K1	+0.0389 O1 + 0.0282 K1
Ki1	14.570	0.1120	-0.0204027 Q1 +0.0102577 O1 +0.00343199 K1 +0.00478214 O1 +0.00451674 K1	+0.0064 O1 +0.0060 K1
Pi1	14.918	0.2747	-0.0201347 Q1 +0.00834422 O1 +0.0162548 K1 +0.00306469 O1 +0.0172371 K1	+0.0030 O1 +0.0171 K1
P1	14.959	4.6806		
S1	15.000	0.		
K1	15.041	14.1484		
Psi1	15.082	0.1120	+0.00316596 Q1 -0.00123732 O1 +0.00835997 K1 -0.000416496 O1 +0.00821215 K1	atlas
Phi1	15.123	0.2027	+0.0118381 Q1 -0.00456803 O1 +0.0159449 K1 -0.00150764 O1 +0.0153984 K1	-0.0015 O1 +0.0152 K1
Tta1	15.513	0.1120	+0.0480597 Q1 -0.0168603 O1 +0.0132878 K1 -0.00478214 O1 +0.0113154 K1	-0.0065 O1 +0.0155 K1
OO1	16.139	0.4347	-0.0432223 O1 +0.0614486 K1	-0.0431 O1 +0.0613 K1
N2	28.440	4.6313		
M2	28.984	24.2297		
S2	30.000	11.2734		
K2	30.082	3.0697		
KJ2	30.627	0.1707	-0.0125884 M2 +0.0993623 K2 +0.0368579 N2 -0.00349275 M2 +0.083177 K2	-0.0034925 M2 +0.0831707 K2

TABLE 1 – Formules d'admittance

2.2.2 Longues périodes

La prédiction des ondes longues périodes sont calculées à partir :

- d'atlas dans les SiROcCô Tools selon la convention de Darwin, qu'utilise Schureman [1940]
- de 106 coefficients de Doodson dans la libfes, sans prise en compte du masque Océan-Continents d'où de faibles différences, essentiellement au niveau de l'onde Omega1, comme le montre la figure 2.

2.3 Solutions à venir

De ce que j'ai compris de la conversation avec Loren le lendemain de notre réunion CTOH du 4 fév 2021, et surtout de son courriel à Florent Lyard du 9 fév 2021, qu'il m'a transmis le jour-même, la résolution de ces problème a pris du temps car l'évaluation de ses impacts est peu concluante mais sera effectuée au plus tard en mars 2021 pour que la lifes soit prête pour le traitement des données d'assimilation FES2022.

3 Impact en altimétrie

La section 2 a montré et expliqué qu'il y a des différences de quelques 10^{ème} de mm à plus de 2mm (section 2.1). Ce genre de différences peut avoir un impact en altimétrie. Une comparaison a donc été effectuée : ses résultats sont présentés dans la section 3.1 et expliqués dans la section 3.2.

3.1 Mission de test et résultats

Des comparaisons ont été faites à partir des résultats de la mission Sentinel 3A, l'une des seules missions pour lesquelles les corrections FES2014 par CLS sont disponibles. Les résultats sont sur la figure 4.

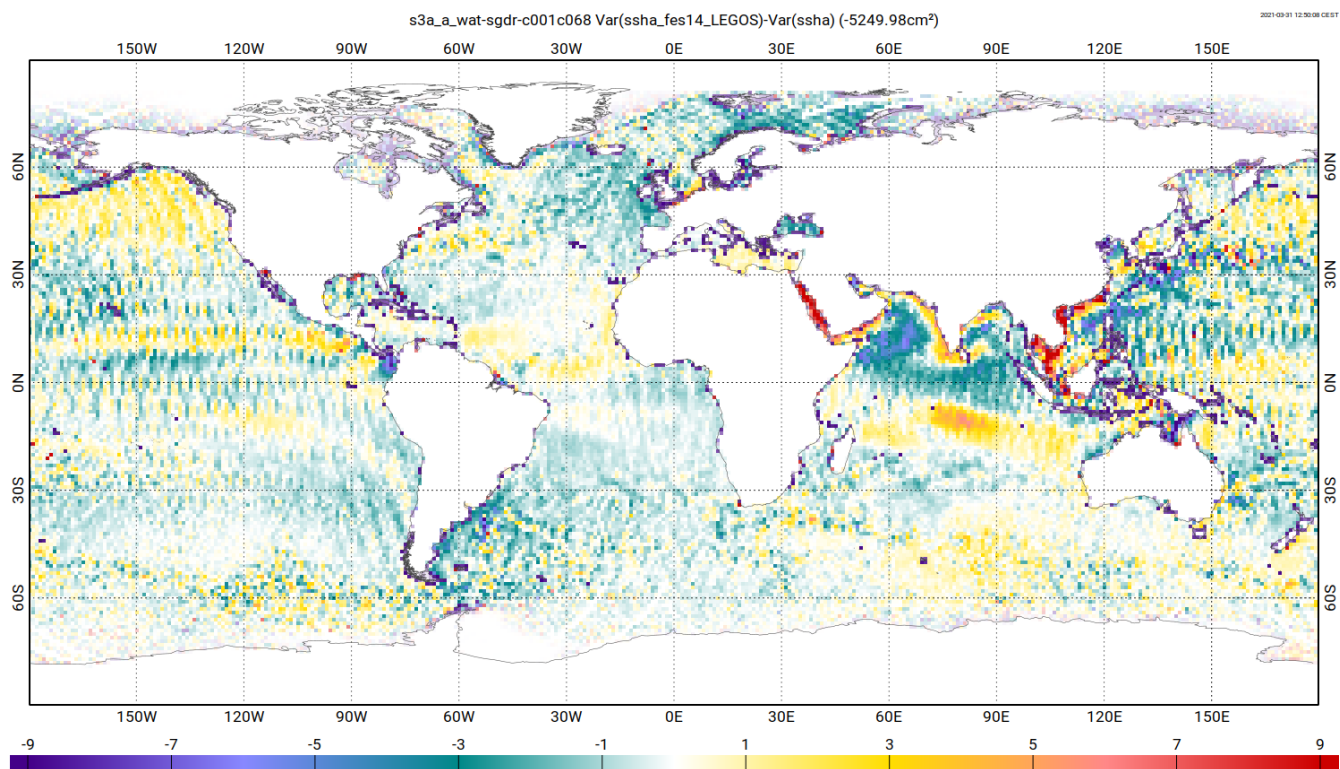


FIGURE 4 – Différences de variance pour la mission Sentinel 3A, cycles 1 à 68

On note une baisse de la variance de SSHA de $\approx 1\text{cm}^2$ dans la Mer de Barents, dans la Mer Noire et dans l'Atlantique, au nord de 30N et au sud de l'équateur, de 3 à 5cm^2 à plus de 700km au large de l'Inde et de fortes baisses ($> 9\text{cm}^2$) un peu partout aux côtes. On note aussi une hausse de la variance de SSHA de $\approx 1\text{cm}^2$ dans le Pacifique au nord de 40N, de 1 à 5cm^2 dans l'Indien entre 10 et 20S, de 3cm^2 au niveau des côtes de l'Inde et $> 8\text{cm}^2$ dans la Mer Rouge et aux niveau des côtes de la Chine et de la péninsule Indochinoise.

3.2 Explications

La section 3.1 a montré de très forte baisses de variance ($> 9\text{cm}^2$) tout près des côtes et d'assez forte différences de variance (quelques cm^2), autant à la hausse qu'à la baisse, au large. Ces deux types de différences sont expliqués, respectivement, par des erreurs d'interpolation, comme expliqué dans la section 3.2.1, et par la covariance entre la SSHA et les différences de corrections, comme expliqué dans la section 3.2.2.

3.2.1 Erreurs d'interpolation

Les fortes baisses de variance à la côte sont expliquées par des erreurs d'interpolation des corrections effectuées par CLS à partir des atlas structurés, qui peuvent atteindre plusieurs centimètres à la côte comme le montre la figure 5.

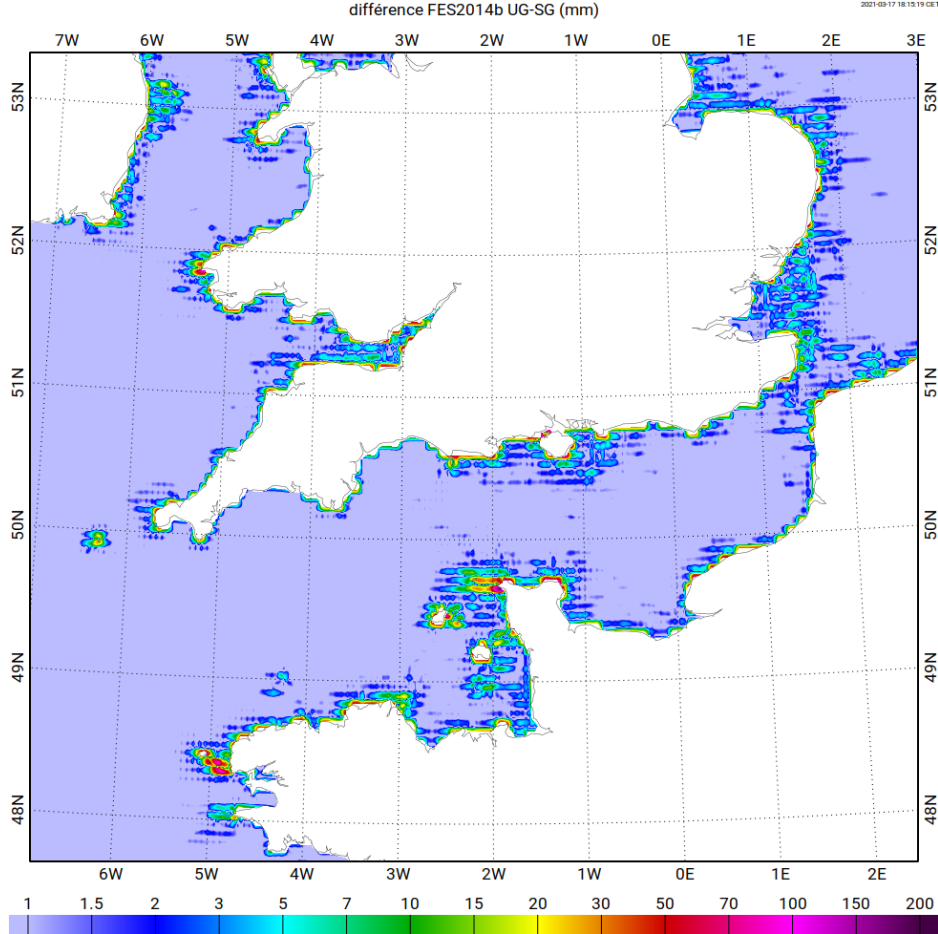


FIGURE 5 – Erreurs d'interpolation de l'atlas structuré pour l'onde M2

3.2.2 Covariance entre la SSHA et les différences de corrections

En prenant ϵ la différence de prédiction, s la SSHA et n le nombre d'échantillons, on a la différence de variance $\Delta\nu$ telle que :

$$\Delta\nu = n^{-1} \sum (s + \epsilon - \bar{s} - \bar{\epsilon})^2 - (s - \bar{s})^2 \quad (1)$$

$$= n^{-1} \sum (s^2 + \epsilon^2 + \bar{s}^2 + \bar{\epsilon}^2 + 2s\epsilon - 2s\bar{s} - 2s\bar{\epsilon} - 2\epsilon\bar{s} + 2\epsilon\bar{\epsilon} + 2s\bar{\epsilon}) - (s^2 - 2s\bar{s} + \bar{s}^2) \quad (2)$$

$$= n^{-1} \sum s^2 + \epsilon^2 + \bar{s}^2 + \bar{\epsilon}^2 + 2s\epsilon - 2s\bar{s} - 2s\bar{\epsilon} - 2\epsilon\bar{s} + 2\epsilon\bar{\epsilon} + 2s\bar{\epsilon} - s^2 + 2s\bar{s} - \bar{s}^2 \quad (3)$$

$$= n^{-1} \sum \epsilon^2 + \bar{\epsilon}^2 + 2s\epsilon - 2s\bar{\epsilon} - 2\epsilon\bar{s} + 2\epsilon\bar{\epsilon} + 2s\bar{\epsilon} \quad (4)$$

En négligeant d'abord $\epsilon^2 + \bar{\epsilon}^2 + 2\epsilon\bar{\epsilon}$ puis $-2s\bar{\epsilon} - 2\epsilon\bar{s}$, on obtient :

$$\Delta\nu \simeq n^{-1} \sum 2s\epsilon - 2s\bar{\epsilon} - 2\epsilon\bar{s} + 2\bar{s}\bar{\epsilon} \quad (5)$$

$$\simeq 2n^{-1} \sum s\epsilon - \bar{s}\bar{\epsilon} \quad (6)$$

La différence de variance peut donc être approximée par le double de la covariance entre la SSHA et les différences de corrections, comme le montre la ressemblance entre les figures 4 et 6.

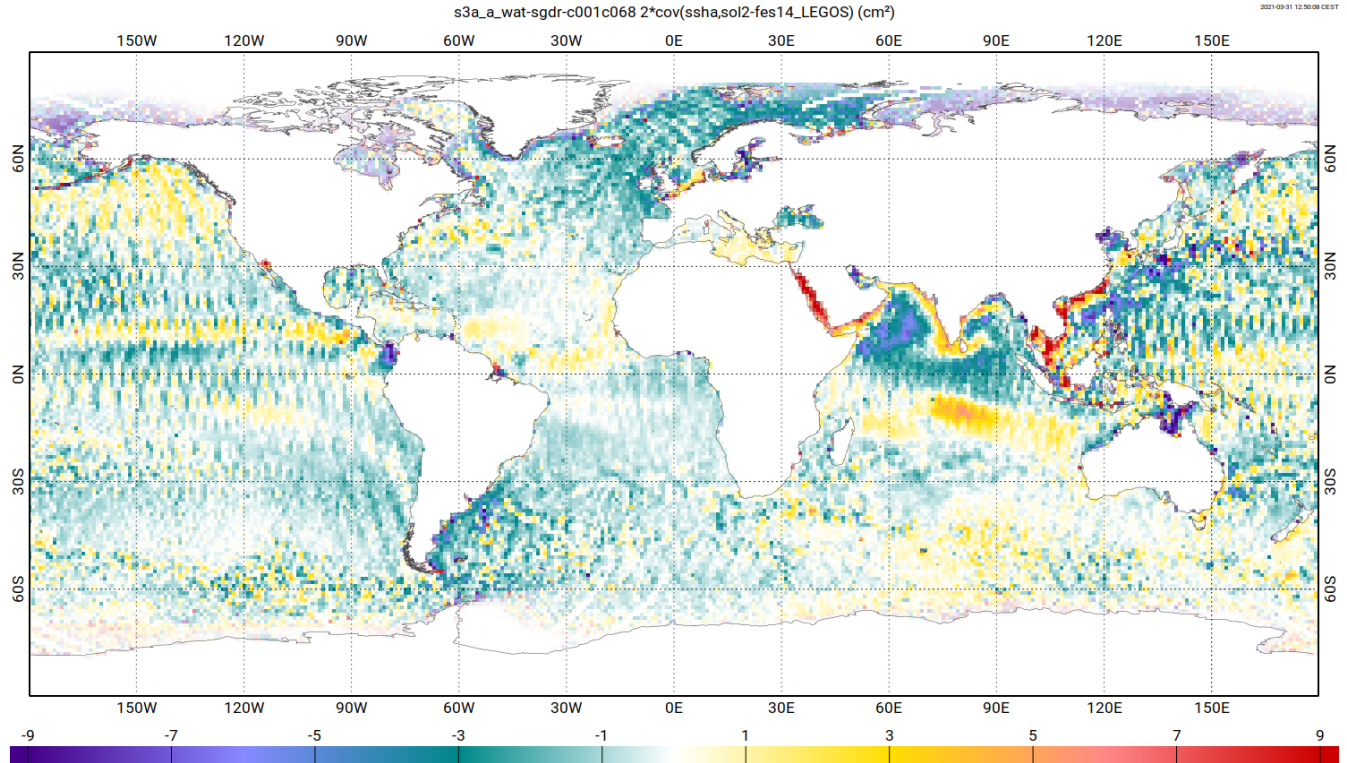


FIGURE 6 – Double de la covariance entre la SSHA et les différences de corrections pour la mission Sentinel 3A, cycles 1 à 68

L'importance de cette covariance de plusieurs cm^2 dans certaines régions peut facilement être expliquée par l'alias à 30 jours (période de la mission Sentinel) de l'onde Psi_1 (voir à son propos la section 2.1) qui est de 182.625 jours et n'est donc pas du tout séparable du cycle saisonnier.

Références

Florent H. Lyard, Damien J. Allain, Mathilde Cancet, Loren Carr-Åsre, and Nicolas Picot. FES2014 global ocean tide atlas : design and performance. *Ocean Science*, 17(3) :615–649, May 2021. doi : 10.5194/os-17-615-2021. URL <https://doi.org/10.5194/os-17-615-2021>. Downloaded 2 Jun 2021.

Paul Schureman. *Manual of harmonic analysis and prediction of tides*, 1940. URL <http://www.archive.org/details/manualofharmonic00schu>. Downloaded BW version on 7 Oct 2011 because all the book is in BW ... but the yellowed paper!