

Estimation des tendances des variations du niveau de la mer Méditerranée à partir des données des marégraphes et d'altimétrie satellitaire

HADDAD Mahdi, TAIBI Hebib

Centre des Techniques Spatiales. BP 13 Arzew. Oran, Algérie. Email: mhaddad@cts.asal.dz



Objectif : Suivre l'évolution du niveau moyen de la mer près des côtes de la Méditerranée à partir de l'analyse des données de marégraphie et d'altimétrie satellitaire.

☞ Savoir objectivement s'il existe **des changements (tendances) significatifs**, positifs ou négatifs, du niveau de la mer le long des côtes à travers l'analyse des mesures marégraphiques pluriannuelles,

☞ **Comparaison** entre les tendances locales des variations du niveau de la mer près des côtes de la Méditerranée, estimées à partir des données issues des deux techniques de mesures (**marégraphie et altimétrie satellitaire**).

Données utilisées

✚ 18 séries de **mesures marégraphiques**, issues de la base de données du Service Permanent du Niveau Moyen de la Mer (PSMSL), avec une résolution mensuelle et ayant au moins 80% des moyennes mensuelles présentes sur la période de 1993 à 2015 (ère de l'altimétrie satellitaire).

✚ **Cartes d'anomalies de hauteur de la mer** à l'échelle de la Méditerranée (1993-2015), produites par le système opérationnel Ssalto/Duacs (Maps of Sea Level Anomaly - SLA). Ces cartes produites à une résolution de $1/8^\circ \times 1/8^\circ$ résultent de l'homogénéisation et de la combinaison de multiples données altimétriques acquises par différentes missions d'altimétrie spatiale.



Fig. 1. Distribution géographique des 18 stations marégraphiques

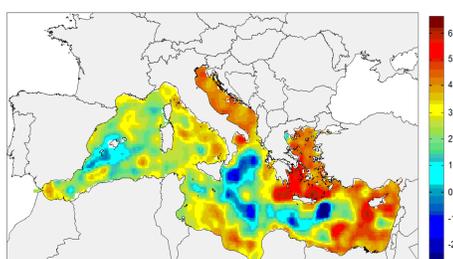


Fig. 2. Taux de variations du niveau de la Méditerranée 1993-2015 (mm/an)

Des taux de variations ponctuelles montrent une différenciation évidente Est-Ouest. L'Est du bassin oriental a augmenté de façon très nette. Par contre, au niveau de l'Italie (mer Ionienne), le niveau a baissé.

Résultats de l'analyse

Analyse des données marégraphiques

Le **test saisonnier de Mann-Kendall (MK)** a été appliqué sur les 18 séries marégraphiques afin de détecter la présence ou non d'une tendance monotone au sein de chaque série.

Lorsque la valeur p du test calculée est inférieure au niveau de signification $\alpha=0.05$, l'**hypothèse nulle H_0 est rejetée** (Il n'y a pas de tendance dans la série) et l'**hypothèse alternative H_1 (Il existe une tendance dans la série) est retenue**.

Résultats du test : 17 stations marégraphiques (sur les 18) présentent des tendances significatives à l'élévation du niveau de la mer (Tableau 1).

Les **taux de changement** du niveau de la mer sont estimés par l'utilisation de l'**approche saisonnière de Sen**. Des **taux à la hausse** sont détectés pour toutes les stations marégraphiques présentant une tendance statistiquement significative (Tableau 2).

Tableau 1. Résultats du test saisonnier de Mann-Kendall sur les 18 séries marégraphiques.

PSMSL Pays / Station	Station	Statistique de MK S'	Var S'	Valeur p du test	Hypothèse nulle (H_0)	Risque de rejeter l'hypothèse nulle alors qu'elle est vraie (en %)	Sens de la tendance
220/021	Tarifa	1367.000	16657.000	< 0.0001	rejetée	<0.01	+
220/032	Malaga II	737.000	16505.667	< 0.0001	rejetée	<0.01	+
220/061	Barcelona	1421.000	15316.333	< 0.0001	rejetée	<0.01	+
220/081	L'Estartit	1081.000	17191.000	< 0.001	rejetée	<0.01	+
230/021	Sete	691.000	9896.333	< 0.001	rejetée	<0.01	+
230/051	Marseille	771.000	11605.667	< 0.001	rejetée	<0.01	+
230/061	Toulon	791.000	14379.667	< 0.001	rejetée	<0.01	+
230/081	Nice	625.000	9709.000	< 0.001	rejetée	<0.01	+
265/001	Marsaxlokk	74.000	9616.667	0.4505	Non rejetée	45.05	+
290/001	Preveza	935.000	11518.333	< 0.001	rejetée	<0.01	+
290/004	Levkas	1341.000	12489.667	< 0.001	rejetée	<0.01	+
290/017	Katakolon	1121.000	12219.667	< 0.001	rejetée	<0.01	+
290/021	Kalamai	617.000	9137.000	< 0.001	rejetée	<0.01	+
290/031	Piraeus	894.000	10648.667	< 0.001	rejetée	<0.01	+
290/71	Khios	395.000	10311.667	0.000	rejetée	<0.01	+
290/081	Siros	566.000	11147.333	< 0.001	rejetée	<0.01	+
290/091	Leros	355.000	13347.667	< 0.002	rejetée	<0.21	+
340/001	Ceuta	729.000	16492.333	< 0.001	rejetée	<0.01	+

Comparaison entre les données in situ et satellitaires

Les taux de changement à l'emplacement des stations marégraphiques ont été estimés à partir de la carte de dérive (Figure 2) en utilisant la méthode d'interpolation du proche voisin.

Tableau 2. Taux des variations estimées à partir des mesures des marégraphes et d'altimétrie satellitaire (1993-2015).

PSMSL Pays / Station	Station	Latitude (°)	Longitude (°)	Marégraphe (mm / an)	VLM (mm / an)	Marégraphe corrigé de l'effet VLM (mm / an)	Altimétrie (mm / an)	Différence (mm / an)
220/021	Tarifa	36.008600	-5.602600	4.65	-0.27	4.92	2.35	2.57
220/032	Malaga II	36.711840	-4.417090	2.20	-0.21	2.41	3.37	-0.96
220/061	Barcelona	41.341770	2.165700	6.36	-0.37	6.73	2.74	3.99
220/081	L'Estartit	42.050000	3.200000	3.83	-0.39	4.22	2.80	1.42
230/021	Sete	43.397598	3.699100	4.72	-0.20	4.92	2.91	2.01
230/051	Marseille	43.278801	5.353860	3.82	-0.32	4.14	3.26	0.88
230/061	Toulon	43.112898	5.914720	3.28	-0.39	3.67	3.09	0.58
230/081	Nice	43.695599	7.285500	3.26	-0.29	3.55	2.43	1.12
290/001	Preveza	38.959078	20.756628	6.02	-0.13	6.15	2.85	3.30
290/004	Levkas	38.834544	20.712108	8.57	-0.15	8.72	3.15	5.57
290/017	Katakolon	37.644822	21.319681	5.68	-0.24	5.92	3.59	2.33
290/021	Kalamai	37.023678	22.115839	4.21	-0.28	4.49	3.52	0.97
290/031	Piraeus	37.937328	23.626714	7.24	-0.15	7.39	5.24	2.15
290/71	Khios	38.371514	26.141189	2.78	-0.09	2.87	3.92	-1.05
290/081	Siros	37.439969	24.945808	3.67	-0.23	3.90	4.59	-0.69
290/091	Leros	37.129675	26.847994	1.32	-0.16	1.48	4.37	-2.89
340/001	Ceuta	35.892400	-5.315890	1.63	-0.26	1.89	2.38	-0.49

Effet du rebond post-glaciaire (Vertical Land Motion, VLM): modèle ICE-6G de Peltier, 2015.

La **tendance la plus forte: 8,72 mm / an** à la station de Levkas, sur la côte ouest de la Grèce.

Cette valeur est supérieure de **5,57 mm / an** par rapport à la tendance absolue estimée au point de la grille altimétrique le plus proche, suggérant un **taux de subsidence élevé** sur ce site.

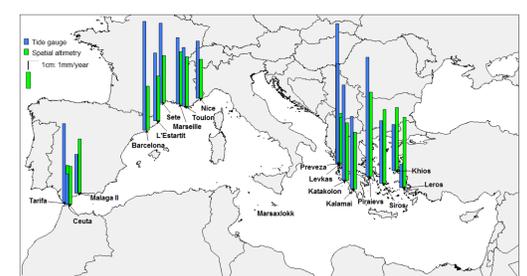


Fig.3. Représentation géographique des tendances estimées à partir des mesures de marégraphie et d'altimétrie spatiale (1993-2015).

Conclusions

☞ La comparaison entre ces tendances locales estimées à partir des mesures in-situ marégraphiques avec celles issues des mesures d'altimétrie satellitaire, sur la période de 1993 à 2015, montre des écarts en valeurs absolues entre **0.49 et 5.57 mm/an**.

☞ Toutes les tendances estimées à partir des données de mesures in-situ et d'altimétrie satellitaire présentent des taux positifs.

☞ Ces résultats sont suffisants pour admettre d'une part et si nécessaire encore, l'élévation lente du niveau moyen près des côtes de la Méditerranée, et d'autre part, la complémentarité des deux techniques de mesures pour couvrir les surfaces océaniques de la Terre, tout aussi bien en plein océan que sur les zones côtières.