

Détermination des Composantes Harmoniques au Port d'Alger par Traitement des Données Marégraphique

T. Benkouider⁽¹⁾, A. Rami⁽¹⁾ et M.A. Meslem⁽²⁾

¹ Centre des Techniques Spatiales, Arzew - Algérie

² Institut National de Cartographie et de Télédétection, Alger – Algérie.

ملخص: يُعرّف المد المحيطي بأنه تغيرات دورية في مستوى سطح البحر بسبب سحب القمر وتأثيرات الشمس. أتاح التحليل الطيفي للمكونات التوافقية لأكثر من أربع سنوات من ملاحظات مقياس المد والجزر الجزائري تحديد الساعات المهمة المتعلقة بالتغيرات الزمنية للمد والجزر وبالتالي اكتشاف نوع المد والجزر في كل محطة.

من ناحية أخرى واستنادا إلى ثوابت المد والجزر التي تم الحصول عليها يتم التنبؤ بالمد والجزر لعام 2015.

الكلمات الأساسية: المد؛ قياس المد والجزر؛ تحليل توافقي التحليل الطيفي والتنبؤ.

Résumé: La marée océanique est définie comme des variations périodiques du niveau de la mer due à l'attraction de la lune et les effets du soleil.

L'analyse spectrale des composantes harmoniques de plus de quatre années d'observations du marégraphe d'Alger a permis de localiser les amplitudes significatives relatives aux variations temporelles de la marée et donc de détecter le type de marée à chaque station.

D'autre part et en se basant sur les constantes de la marée obtenues une prédiction de la marée est faite sur l'année 2015.

Mots clés : marée; marégraphe; analyse spectrale, prédiction.

Abstract: The ocean tide is defined as periodic variations in sea level due to the pull of the moon and the effects of the sun.

The spectral analysis of the harmonic components of more than four years of observations of the Algiers tide gauge made it possible to locate the significant amplitudes relating to the temporal variations of the tide and therefore to detect the type of tide at each station.

On the other hand and based on the tide constants obtained a tide prediction is made for the year 2015.

Keywords: tide; tide gauge; harmonic analysis; spectral analysis, prediction.

1. Introduction

Le phénomène des marées est observé depuis des millénaires, mais il a fallu attendre la théorie de la gravitation universelle de Newton pour fournir un premier modèle explicatif et prédictif basé sur l'hypothèse statique. Des modèles plus précis, tenant compte de la nature dynamique des perturbations de l'équilibre de la masse d'eau de la Terre, ont ensuite été développés du XVIII^e au XX^e siècle (Laplace, George Darwin, Kelvin, Airy, Whewell, Chazallon, Hough, Poincaré, Roche...), ainsi que les effets dû aux formes des côtes et à la profondeur de l'eau. Au final ces études ont permis de prédire les marées tant au niveau global qu'au niveau local avec une précision satisfaisante par rapport aux besoins de la navigation.

Aujourd'hui, les marégraphes constituent la seule source d'observations directes disponibles sur plusieurs décennies, voire centaines d'années, qui apportent une information précieuse pour décrire et comprendre les variations enregistrées du niveau des océans et par conséquent la détermination d'une référence d'altitude zéro (Pouvreau, 2008).

Ce travail porte sur l'analyse spectrale basée sur l'analyse harmonique des composantes des observations issue de la station marégraphique installée au port d'Alger en 2011, pour déterminer l'espèce de la marée ainsi que la prédiction de la marée au port d'Alger.

Le but donc, est de déterminer les constantes harmoniques à savoir l'amplitude et la phase qui constituent les inconnues de notre problème, en adoptant une méthode d'ajustement. Après la détermination des constantes harmoniques, la prédiction devient possible après avoir calculé les corrections nodales et les arguments astronomiques appropriés (Foreman, 1979).

2. Méthodologie

L'analyse harmonique est une méthode permettant de représenter la marée sous forme d'une somme de composantes harmoniques de période et phase bien déterminées, correspondant aux termes de la force génératrice astronomique luni-solaire et à des termes complémentaires d'origine hydrodynamique (SHOM, n.d.).

L'expression des équations linéarisées de la marée océanique amène donc à chercher la dénivellation du niveau

des océans créée par la force génératrice des marées, dont dérive le potentiel, sous la forme d'une somme de fonctions sinusoïdales élémentaires (Lefevre, 2000) :

$$\Delta h(\lambda, \varphi, t) = Z_0 + \sum_i A_i \cos[2\pi(\omega_i t - \phi_i)] \quad (1)$$

Où

Z_0 est le niveau moyen rapporté au zéro des cartes autour duquel oscille le niveau de la mer, dans ce travail Z_0 représente le niveau de la mer déterminé par traitement des observations du marégraphe acoustique installé au port d'Alger en 2011 (Rami et al., 2016)

A_i est l'amplitude de l'onde i .

ϕ_i est la phase exprimée à l'instant de passage du corps perturbateur (lune ou soleil) au méridien de Greenwich.

ω_i est la fréquence de l'onde i : elle est donnée par le développement de Doodson.

En 1921, Doodson présenta un développement du potentiel générateur beaucoup plus complet. En s'appuyant sur la théorie lunaire de Brown, il a exprimé les coordonnées de la Lune par rapport à l'écliptique. Ses développements, contrairement à ceux de Darwin, sont purement harmoniques. Ils conduisent à environ 400 composantes du potentiel (Doodson, 1921).

Doodson a utilisé les cinq angles fondamentaux ainsi que le temps lunaire moyen pour positionner les mouvements de la Lune et du Soleil dans le repère terrestre (Doodson, 1921).

L'équation (1) devient (Lefevre, 2000) :

$$\Delta h(\lambda, \varphi, t) = Z_0 + \sum_i F_i (B_i \cos \xi_i + C_i \sin \xi_i) \quad (2)$$

Où :

$$\xi_i = \omega_i t + U_i + X_i, B_i = A_i \cos \phi_i \text{ et}$$

$$C_i = A_i \sin \phi_i$$

B_i et C_i sont appelées constantes harmoniques du port considéré.

F_i : Coefficient de la correction nodale de l'amplitude de l'onde i .

U_i : Correction nodale de la phase de l'onde i .

X_i : Argument de Doodson.

L'analyse des jeux d'observations horaires permet l'exploration des composantes harmoniques jusqu'aux douzièmes diurnes. Néanmoins, certains types de marées nécessitent des cadences d'échantillonnage supérieures vu que l'énergie est perceptible au delà des trentièmes diurnes (Pouvreau, 2010).

3. Données utilisées

Les données traitées dans ce travail sont fournies par l'INCT dans le cadre de la convention de collaboration scientifique ente le CTS d'Arzew et l'INCT signée en juin 2011 pour la réalisation du projet de recherche intitulé " Définition d'un Système de Référence Altimétrique pour l'Algérie", Les données utilisées sont celle de la station d'Alger installée en Décembre 2011, s'étalant du 13/12/2011

au 11/05/2015. Toutes ces données sont échantillonnées à 1 minute d'intervalle.



Fig. 1 Image satellite de Marégraphe d'Alger.

Pour une description plus détaillée du contenu des fichiers de données issue du marégraphe numérique d'Alger et leurs format, les lecteurs sont invités à consulter le manuel des produits Log-a Level (General Acoustic, 2007).

4. Résultats

4.1 Prétraitement des observations

Dans le cadre de ce travail, on a développé un programme sous Matlab qui permet, d'un côté, de corriger les observations brutes de chaque station des mesures aberrantes en utilisant deux filtres basés sur 120 observations pour le premier et 10 observations pour le deuxième et d'autre côté, de faire un échantillonnage sur une heure à fin d'avoir deux fichiers horaires des mesures du niveau de la mer et de la pression atmosphérique.

Il permet aussi de calculer et de corriger les mesures de l'effet du baromètre inverse en utilisant les mesures de pression.

Les résultats du traitement sont représentés dans les figures suivantes :

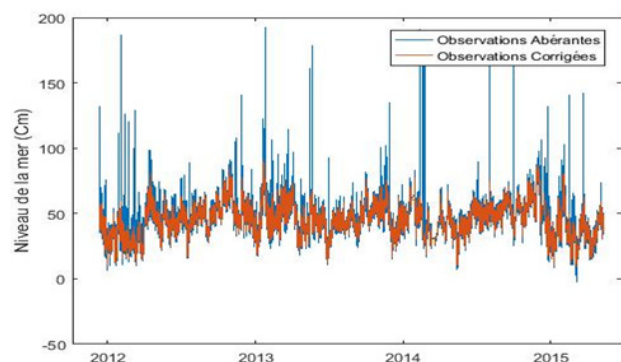


Fig. 2 Correction des mesures brutes de la station marégraphique d'Alger des observations aberrantes.

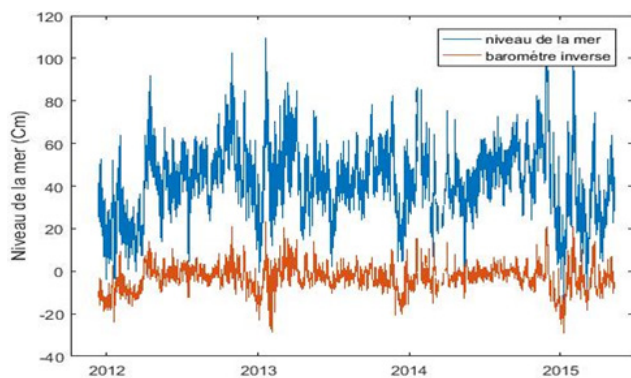


Fig. 3 Représentation des mesures échantillonnées par heure et corrigées de l'effet du baromètre inverse (Alger).

4.2. Composantes harmoniques

Dans le cadre de déterminer le type de la marée et les caractéristiques associées, on a utilisé un programme basé sur le logiciel UT-solv.

UT-solv est un programme sous environnement Matlab, basé sur la méthode des moindres carrés, crée par Codiga en 2011 dans le but de déterminer le niveau moyen des mers et les composantes harmonique de la marée tout en considérant la correction nodale journalière (Codiga, 2011). L'analyse harmonique de la marée nous a permis de calculer les constantes harmonique des composantes détectés lors de l'analyse spectrale le tableau suivant regroupe les sept composantes les plus importantes de par leur amplitude du port d'Alger, elles représentent environ 97% de l'amplitude de l'ensemble des ondes de marée d'Alger, et peuvent être considérées comme représentatives du site.

Tab.1 Amplitude et phase des huit plus importantes composantes.

Composantes Harmoniques	amplitude(Cm)	Phase(°)
K1	3.93 (35.79%)	175
M2	2.12 (19,31%)	205
O1	2.09 (19.03%)	111
P1	1.19 (10.84%)	165
S2	0.54 (4.92%)	183
N2	0.41 (3.74%)	184
NO1	0.37 (3.40%)	130

L'analyse spectrale de trois années de mesures marégraphiques montre que le spectre d'Alger est dominé par les espèces diurnes qui forment le groupe de composantes harmoniques ayant les plus fortes amplitudes, avec à sa tête, la composante K1 (≈ 3.93 Cm). Ce spectre montre aussi l'importance des espèces semi-diurnes comme M2 ($\approx 2,12$ Cm).

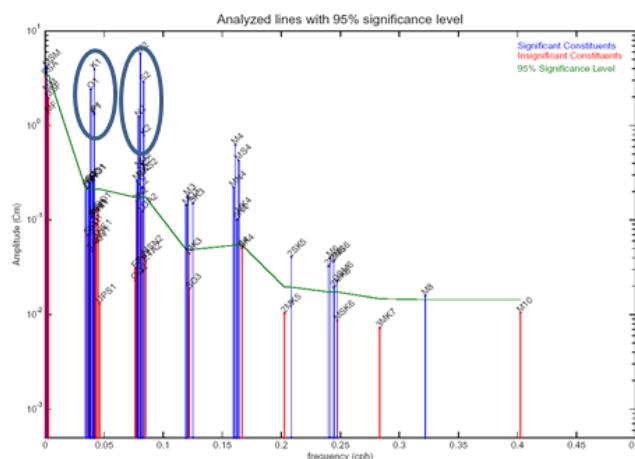


Fig. 4 Spectre des composantes harmoniques de la marée d'Alger en échelle logarithmique.

4.3 Espèce de la marée

Pour déterminer l'espèce de la marée au port d'Alger on doit calculer le facteur R (Form Factor) par la formule suivante (Rami et al., 2016) :

$$R = \frac{A_{mK1} + A_{mO1}}{A_{mM2} + A_{mS2}} \quad (3)$$

Où :

A_m : Amplitude de l'onde considérée (Simon and Gonella, 2007) :

- $R < 0,25$ la marée est de type semi-diurne ;
- $0,25 \leq R < 1,5$ le type de la marée est semi-diurne à inégalités diurnes ;
- $1,5 \leq R < 3$ la marée est dite mixte ;
- $R \geq 3$ la marée est de type diurne.

Dans notre cas : $R = \frac{3,93+2,09}{2,12+0,54} = 2.26$

Alors on conclue que la marée au port d'Alger est mixte.

4.4 Prédiction de la marée

Les prédictions (Les prévisions) de marées sont calculées à partir de la série temporelle de données obtenue par les marégraphes lors des années précédentes. Cette série de données est adaptée par la méthode des moindres carrés en utilisant l'algorithme de Foreman (Foreman, 1979).

Plus la série de données que nous avons est importante, meilleure est la précision de la prévision, puisque nous auront une meilleure détermination des constantes harmoniques.

Dans notre cas on a utilisé 3 ans d'observations, 2012, 2013 et 2014 pour prédire l'effet de la marée en 2015. Avant de faire la prédiction on a fait la reconstruction de la marée astronomique.

La marée reconstruite est représentée dans la figure suivante :

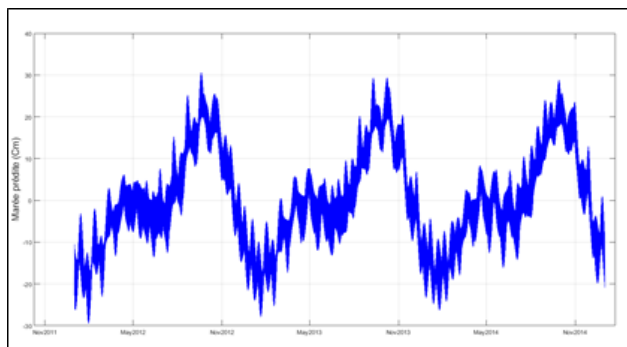


Fig.5 Reconstruction de l'effet de la marée au niveau de la mer du 2012 au 2014

En se basant sur les composantes harmoniques obtenues précédemment, on a prédit l'effet de la marée durant la période du 01 janvier 2015 au 31 décembre 2015.

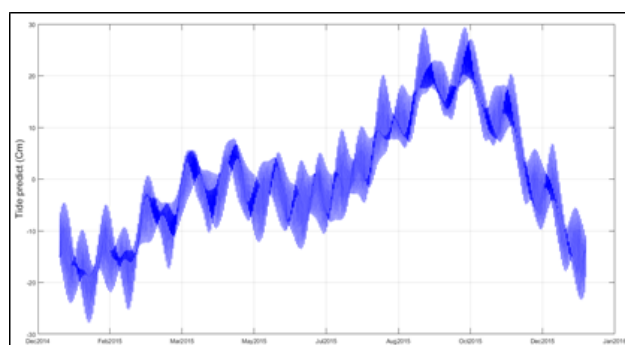


Fig.6 Prédiction de l'effet de la marée au niveau de la mer pour l'année 2015

On remarque que la marée prédite et celle reconstruite ont la même allure de telle façon le graphe de la marée prédite représente 1/3 du graphe qui représente la marée reconstruite.

5. Conclusion

L'analyse spectrale par traitement de plus de quatre années d'observations de la station marégraphique d'Alger et fournies par l'INCT nous a permis d'identifier, dans une gamme de fréquences, les amplitudes significatives relatives aux variations temporelles de la marée ; Le spectre de la marée montre l'existence particulière des espèces diurnes et semi diurnes.

On peut dire donc que la marée au niveau de cette station

est mixte. Notons ici que les composantes harmoniques identifiées sont utilisées pour prédire la marée durant l'année 2015.

En perspective, l'intégration des données complètes (fréquence, température, pression) d'une longue période va sûrement nous permettre de déterminer avec précision les composantes harmoniques et par conséquent faire une bonne prédiction.

Références bibliographiques

- Codiga, D.L., 2011.* Unified tidal analysis and prediction using the UTide Matlab functions.
- Doodson, A.T., 1921.* The harmonic development of the tide-generating potential. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character 100, 305–329.
- Foreman, M.G.G., 1979.* Manual for tidal heights analysis and prediction. Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay.
- General Acoustic, 2007.* Log-a Level user Manual for Stationary and Mobile Version.
- Lefevre, F., 2000.* Modélisation des marées océaniques à l'échelle globale: assimilation de données in situ et altimétriques.
- Pouvreau, N., 2010.* Vers une coordination de l'observation du niveau de la mer en France. XIèmes Journées Nationales " Génie Civil-Génie Côtier 22–24.
- Pouvreau, N., 2008.* Trois cents ans de mesures marégraphiques en France: outils, méthodes et tendances des composantes du niveau de la mer au port de Brest.
- Rami, A., Nechimi, M., Benkouider, T., 2016.* Traitement du signal marégraphique par analyse harmonique pour la détermination d'une référence altimétrique pour l'Algérie. Bulletin des sciences géographiques 30, 2–10.
- SHOM, n.d. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM). Documentation de MAS. Fascicule : mode opératoire n°2007-061.
- Simon, B., Gonella, J., 2007.* La marée océanique côtière. Institut océanographique.