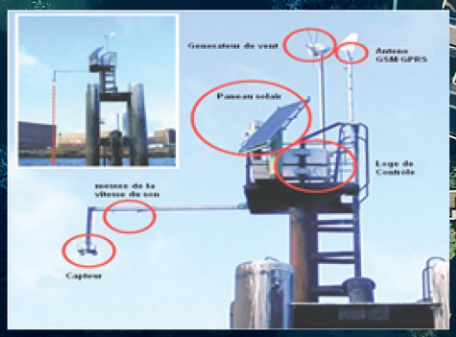
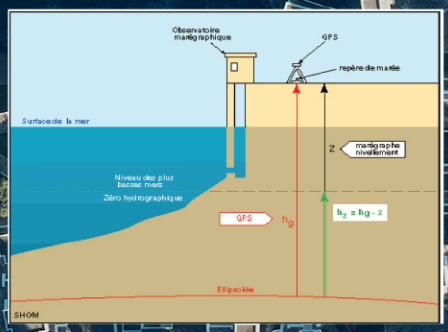
Bulletin des Sciences Géographiques

Édité et publié par l'Institut National de Cartographie et de Télédétection

Édition spéciale : Marégraphie



Définition d'un Système de référence Altimétrique pour l'Algérie



Effet des seiches sur le signal de la marée d'un littoral microtidal. Cas du Port d'Alger

Édition 2020 • Prix 40 DA • Étranger 15 € • ISSN 1112-3745

Le Bulletin des Sciences Géographiques (BSG) est une publication semestrielle de l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT), Algérie.

Le BSG, est une revue internationale, fondée en Octobre 1997.
ISSN 1112-3745

Directeur de la Publication :
Hassen ABDELLAOUI, Directeur Général de l'INCT

Rédaction et Administration :
Département Analyses et Synthèses
Centre de la Documentation et de la Conservation de l'Information Géographique de l'INCT

Adresse :
Bulletin des Sciences Géographiques,
INCT, 123, rue de Tripoli BP 430, 16040 Hussein Dey - Alger, Algérie.
Tél : (021) 49 16 94 / (021) 49 16 95
Fax : (021) 49 16 91 / (021) 49 16 88
E-mail : bsg@inct.dz ; inct@mdn.dz ; contact@inct.dz

Comité de Rédaction

Rédacteur en Chef
Sous Directeur Recherche et Développement / Institut National de Cartographie et de Télédétection ;

M. BOUKHEROUBA Sabreddine,
Chef Division de Département Renseignement Images / Centre National d'Exploitation des Satellites de Télédétection ;

M. AOUAMER Toufik,
Sous Directeur des Travaux de Vocation / Institut National de Cartographie et de Télédétection ;

M. KADDOUR DJEBBAR Abdelghani,
Sous Directeur des Travaux Spécifiques et Arts Graphiques / Institut National de Cartographie et de Télédétection ;

M. CHOUDER Mohamed Tahar,
Chargé d'Études et de Synthèses / Conseil National de l'Information Géographique.

Secrétariat de Rédaction du Bulletin des Sciences Géographiques

Mme OUAHCENE Dounia (Ingénieur en Géographie)
Département Analyses et Synthèses Centre de Documentation et de Conservation et l'information Géographique / Institut National de Cartographie et de Télédétection ;
Mme SELLAM Karima (Cadre Traductrice)
Département Analyses et Synthèses Centre de Documentation et de Conservation et l'information Géographique / Institut National de Cartographie et de Télédétection ;
Mme ALOUI Liza (Infographe)
Département Analyses et Synthèses Centre de Documentation et de Conservation et l'information Géographique / Institut National de Cartographie et de Télédétection ;
Mme MEBARKI Radia (Ingénieur)
Sous Direction des Travaux de Vocation Direction de Production / Institut National de Cartographie et de Télédétection.

Conception et maquette :
M. Mellal M^ed Amine
Sce Publication-Département Analyses et Synthèses /Centre de Documentation et de Conservation et l'information Géographique / Institut National de Cartographie et de Télédétection.

Impression :
Sous Direction des Travaux Spécifiques et Arts Graphiques/Direction de Production / Institut National de Cartographie et de Télédétection.

Tirage :
500 Exemplaires



Photo de la couverture :
Extrait d'une image DMC III
Lieu : Tipaza - Algérie,
Résolution : GSD 10 cm, Année : 2020
Tous droits réservés pour tous pays,
(textes, illustrations, photos).

Sommaire

Marégraphie

• Définition d'un système de référence altimétrique pour l'Algérie *P02*
Par : A. Rami , M.A. Meslem et T. Benkouider

• Détermination des composantes harmoniques au port d'Alger par traitement des données marégraphique..... *P08*
Par : T. Benkouider, A. Rami et M.A. Meslem

• Détermination du zéro hydrographique par traitement des données marégraphiques..... *P12*
Par : T. Benkouider et A.Rami

• Effet des seiches sur le signal de la marée d'un littoral microtidal. Cas du port d'Alger..... *P16*
Par : Zerrouki Chawki et Hemdane Yacine

• Importance de la fréquence de mesures du niveau de la mer pour l'étude des risques côtiers *P19*
Par : Y. Hemdane et C. Zerrouki

Comité de lecture du BSG



ABDELLAOUI Hassen
Directeur Général de l'Institut National de Cartographie et de Télédétection



HADJ ZOBIR Soraya-Irmgard
Professeur, Faculté des Sciences de la Terre, Université d'Annaba.



CÔTE Marc
Professeur émérite Université de Provence.



OMRANE Naceur
PHD, Directeur Technique Institut National de Cartographie et de Télédétection



KAHLOUCHE Salem
Directeur de Recherche, Centre des Techniques Spatiales (CTS) Arzew, Oran.



RUAS Anne
HDR, Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTR-France).



OUABADI Azioux
Professeur, Directeur du laboratoire de recherche « Géodynamique, Géologie de l'Ingénieur et Planétologie », USTHB-Alger.



ABTOUT Abdeslam
Maître de Recherche, Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique (CRAAG).



SMARA Youcef
Professeur, Directeur du laboratoire de recherche « Traitement d'Images et Rayonnement (L.T.I.R) », USTHB-Alger.



HADEID Mohamed
Professeur, Directeur du laboratoire de recherche « Espace Géographique et Aménagement du Territoire (EGEAT), Université d'Oran.



SEMMOUD Bouziane
Professeur des Universités, Université Paris 8, rattaché au laboratoire de recherche Dynamiques Sociales et Recomposition des Espaces (LADYSS) UMR 7533 Paris 1, Paris 7, Paris 8 et Paris X



MEBARKI Azeddine
Professeur, Directeur du laboratoire de recherche « Sciences du Territoire, Ressources Naturelles et Environnement, Université de Constantine ».



SOUIAH Sid-Ahmed
Professeur des Universités, Université de Cergy-Pontoise.Rattaché au laboratoire de recherche Mobilités, Réseaux, Territoires et Environnement et du Groupe de Recherche sur le Maghreb et le Moyen-Orient.



LAIGNEL Benoit
Professeur des Universités, rattaché à l'Université de Rouen



IDRES Mouloud
Professeur, Département de Géophysique Faculté des Sciences de la Terre,de Géographie et de l'Aménagement du Territoire, USTHB-Alger.



LABORDE Jean-Pierre
Professeur des Universités, rattaché à l'Université Nice Sophia Antipolis



BELHOCINE Mahmoud
Maître de Recherche, Centre de Développement des Technologies Avancées (CDTA).

Définition d'un Système de référence Altimétrique pour l'Algérie

A. Rami[1], M.A. Meslem[2] et T. Benkouider[1]
[1] Centre des Techniques Spatiales, Arzew - Algérie
[2] Institut National de Cartographie et de Télédétection, Alger – Algérie

ملخص: لا يزال أصل شبكة التسوية العامة الجزائرية (NGA)، التي يعود تاريخها إلى الحقبة الاستعمارية الفرنسية (1889)، تستند تاريخيا إلى مقياس متوسط حلق الوادي (بالقرب من تونس العاصمة) ، حيث لا توجد معلومات قليلة حول تعريفها ودقتها. هذا الأصل هو 34 سم فوق المستوى الهيدروغرافي الذي يمثل مستوى انخفاض البحار.

في هذا السياق، شرعت INCT بالتعاون مع Center des Techniques Spatiales (CTS في تركيب مقاييس المد والجزر الرقمية General Acoustics من نوع "LOG_aLevel" على طول السواحل الجزائرية ، في ميناء الجزائر (نوفمبر 2011) وميناء جيجل (مايو 2012) وميناء وهران (مايو 2013).

مكنتنا معالجة بيانات المد والجزر التي سجلتها كل محطة بفلاتر مختلفة من تحديد مستوى البحر في ميناء الجزائر وميناء جيجل وميناء وهران. يظهر تحليل النتائج تحولا طفيفا بين مرجع مقياس الارتفاع الحالي والذي تم تحديده في ميناء الجزائر (8.4 سم) وميناء جيجل (4.2 سم) وكبير نسبيا في ميناء وهران (25 سم).

الكلمات الأساسية: مرجع قياس الارتفاع. قياس المد والجزر؛ يعني مستوى سطح البحر؛ الصفر الهيدروغرافي.

Résumé : L'origine du réseau du nivellement général de l'Algérie (NGA), qui remonte à l'époque coloniale française (1889), historiquement basé sur le Médimarémètre de La Goulette (prés de Tunis) dont peu d'informations existent sur sa définition et sa précision. Cette origine se trouve à 34 cm au-dessus du niveau hydrographique qui représente le niveau des basses mers.

Dans ce contexte, l'INCT avec la collaboration du Centre des Techniques Spatiales (CTS) a procédé à l'installation de marégraphes numériques de General Acoustics de type "LOG_aLevel" le long des côtes algériennes, au port d'Alger (novembre 2011), au port de Jijel (mai 2012) et au port d'Oran (mai 2013).

Le traitement des données marégraphiques enregistrées par chaque station avec différents filtres, nous a permis de déterminer le niveau de la mer au port d'Alger, au port de Jijel et au port d'Oran. L'analyse des résultats montre un décalage faible entre la référence altimétrique actuelle et celle déterminée au port d'Alger (8.4 cm) et au port de Jijel (4.2 cm), et relativement important au port d'Oran (25 cm).

Mots clés : Référence altimetrique ; Marégraphe; Niveau moyen de la mer ; Zéro hydrographique.

Abstract : The origin of the Algerian General Leveling Network (NGA), which dates back to French colonial times (1889), historically based on the La Goulette Medimaremeter (near Tunis), of which little information exists. on its definition and precision. This origin is 34 cm above the hydrographic level which represents the level of low seas.

In this context, the INCT with the collaboration of the Center des Techniques Spatiales (CTS) proceeded to the installation of General Acoustics digital tide gauges of the "Log-aLevel" type along the Algerian coasts, at the port of Algiers (November 2011), the port of Jijel (May 2012) and the port of Oran (May 2013).

Processing the tide data recorded by each station with different filters enabled us to determine the sea level at the port of Algiers, the port of Jijel and the port of Oran. Analysis of the results shows a small shift between the current altimeter reference and that determined at the port of Algiers (8.4 cm) and the port of Jijel (4.2 cm), and relatively large at the port of Oran (25 cm).

Key words : Altimetric reference; Tide gauge; Mean sea level; Hydrographic zero.

1. Introduction

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, 2010).

Leur champ d'application s'est considérablement élargi de l'ingénierie côtière et l'aménagement du littoral à la connaissance précise des variations du niveau de la mer liées aux événements extrêmes (trompète, tsunami…) et aux changements climatique.

Concernant les référentiels altimétriques, l'ensemble de conventions permettant la définition du système d'altitude peut comprendre :

- un point fondamental et son altitude conventionnelle (référence d'altitude zéro) ;
- l'adoption de type(s) d'altitude ;
- des modèles physiques et mathématiques.

En Algérie, le point fondamental qui représente l'origine du réseau du nivellement général Algérien (NGA), et qui remonte à l'époque coloniale française (1889), se base toujours sur le Médimarémètre de La Goulette (prés de Tunis) dont peu d'informations existent sur sa définition et sa précision (INCT, 2007). Cette origine se trouve à 34 cm au-dessus du zéro hydrographique qui représente le niveau des basses mers.

Le 30 Avril 2003, un arrêté du ministère de la défense nationale, publié au journal officiel n°30, fixant les systèmes de référence des coordonnées géographiques, planimétriques et altimétriques relatifs au territoire national, mentionne que le point fondamental du nivellement général de l'Algérie (NGA) est le point du marégraphe situé au port d'Alger *(Journal Officiel, 2003)*.

Le traitement des données du marégraphe d'Alger durant la période du 29/03/2004 au 27/02/2006, a permis de situer la référence altimétrique à 39.1 cm au-dessus du zéro hydrographique, soit une différence de 5.1 cm par rapport à la référence de la Goulette *(Haddad et al., 2006)*.

Dans ce contexte, l'INCT avec la collaboration du Centre des Techniques Spatiales (CTS) ont procédé à l'installation de marégraphes numériques le long des côtes algériennes pour la définition d'une nouvelle référence altimétrique pour l'Algérie. Ces stations marégraphiques sont réparties comme suit : au port d'Alger (novembre 2011), au port de Jijel (mai 2012) et au port de Mers el Kebir *(mai 2013) (Rami et al., 2016)*.

Ce travail porte sur la détermination de la référence altimétrique nationale à partir du traitement des données issues de ces trois stations et fournies par l'INCT. Ce qui représente une première détermination d'une référence d'altitude zéro.

2. Niveau de la mer

Beaucoup de marégraphes ont également été utilisés d'une façon continue pour la mesure du niveau moyen de la mer, qui a servi de base à la plupart des réseaux de nivellement. Afin de se trouver le plus proche possible de cette surface idéale, on a souvent défini l'origine du réseau de nivellement par la cote d'un repère, dit fondamental, au-dessus d'un niveau moyen de la mer calculé à partir des observations d'un marégraphe sur une période donnée, la plus longue possible (Pouvreau, 2008).

Le zéro hydrographique, ou zéro des cartes est le niveau de référence à partir duquel sont données les profondeurs des cartes marines (Wöppelmann et al., 2006), il représente le niveau atteint par les plus basses mers astronomiques ainsi que le recommande le conseil de l'Organisation Hydrographique Internationale (OHI).

2.1 Instruments d'observation de la marré

Parmi tous les moyens d'observation de l'océan, la mesure marégraphique est l'une des techniques majeures de l'océanographie. Les applications scientifiques liées à la mesure marégraphique couvrent largement le spectre temporel et spatial des variations de la surface océanique : établissement des annuaires des marées, estimation de l'élévation globale du niveau des mers, études de la circulation océanique, validation des résultats de l'altimétrie radar satellitaire, etc. Quel que soit son principe de mesure, un marégraphe est susceptible de fournir à tout instant une information locale de hauteur de la surface de la mer par rapport à une référence choisie de façon arbitraire. Parmi les marégraphes les plus utilisés, on cite **(SHOM, n.d.)** :

1) Marégraphes Côtiers Numériques (MCN)

Le MCN est équipé d'un télémètre, placé dans un puits tranquillisant, au-dessus de la surface de l'eau, il permet de filtrer la houle (période moyenne 5 à 8 s) et le clapot extérieurs (période 2 à 5s). Le puits (ou tube) de tranquillisation sert par ailleurs de guide d'onde et empêche l'onde ultrasonore d'être perturbée par les flux d'air (vent) (Haddad et al., 2006). "Figure.1" représente un marégraphe côtier numérique.



Fig. 1 Marégraphe Côtiers Numériques (MCN)

2) Marégraphes à acquisition automatique

Ce marégraphe de type **LOG_aLevel** (figure 2), composé principalement d'un capteur à ultrasons ULL6080, un module d'enregistrement et une alimentation électrique, est un système complet, précis et robuste, destiné pour la mesure de la hauteur de la mer et des vagues sur la base de la technologie ultrason. Ces mesures sont fiables, rapides et précises.

Les principaux avantages de ce marégraphe sont *(General Acoustic, 2007) :*

- Calibration automatique et spécifique au compensateur de vitesse du son installé sur le Système ;
- Sans entretien et facile déployer ;
- Précis, robuste et économique ;

- Fiable dans les conditions extrêmes, comme les inondations, les tempêtes, etc.
- Précision des surfaces ondulées. Mesure simultanée de la hauteur de la mer et des vagues

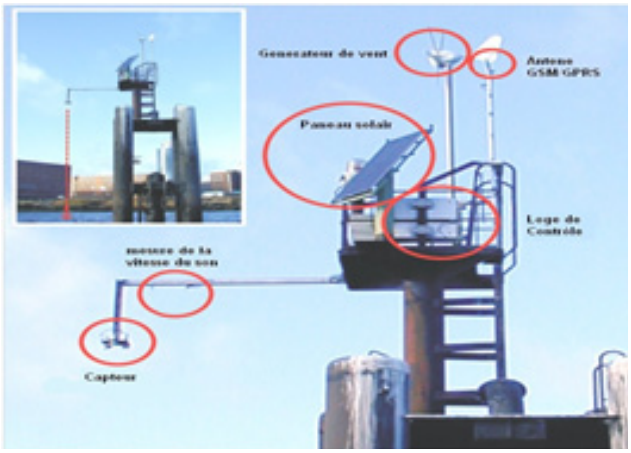


Fig. 2 Marégraphe Acoustique « Log-aLevel ».

2.2 Effets perturbateurs sur le signal marégraphique

Quel que soit son principe de mesure, un marégraphe est susceptible de fournir à tout instant une information locale de hauteur de la surface de la mer par rapport à une référence choisie de façon arbitraire. Le signal enregistré par un marégraphe est complexe, notamment en raison de la variété des effets qui sont susceptibles d'affecter celui-ci *(Wöppelmann et al., 2006)* :

- Effets perturbateurs internes à l'instrument.
- Effets perturbateurs externes à l'instrument : Effets des marées terrestres, tectoniques, du volcanisme.
- Effets des nappes d'eau souterraine : Effet des variations de niveau des nappes d'eau.

2.3 Configuration du marégraphe

la configuration de ce type de marégraphe, nécessite l'introduction de l'altitude du capteur par rapport au zéro hydrographique (h_(c/zero hyd)), dans le logiciel du marégraphe, cette valeur est appelée "Adjustment level" *(Rami et al., 2016).*

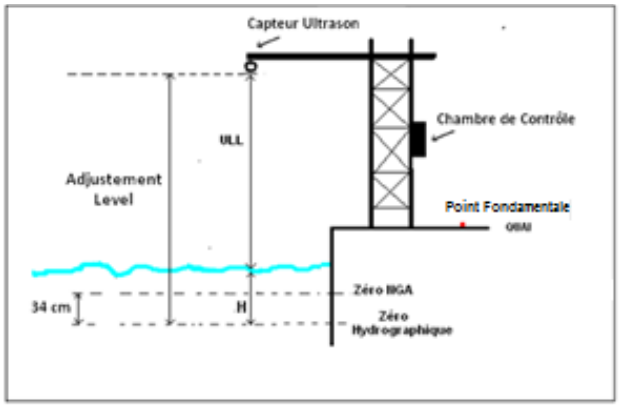


Fig.3 Principe du marégraphe Log-aLevel

$$h_{c/zerohyd} = h_{c/NGA} + 34cm$$

$h_{C/NGA}$: La hauteur de capteur par rapport ou zero NGA

Donc le capteur va mesurer le niveau instantané de la mer (H) par rapport au zéro hydrographique (figure 3) tel que :

$$H = h_{c/zerohyd} - ULL = h_{c/NGA} + 34 - ULL \quad (2)$$

Où :

h : Hauteur de la mer par rapport au zéro hydrographique ;

ULL : La distance mesurée entre le capteur et le niveau de la mer instantané.

2.4 Localisation des marégraphes



Fig. 4 Localisation des trois marégraphes (Alger, Oran, Jijel).

a) Marégraphe d'Alger : installé en Décembre 2011

Localisation Géographique :
Lat=36° 47' 04.22"N Long=3° 04' 04.54"w
L'altitude du capteur : 3.31m /Zéro Hydro



Fig. 5 Image satellite de Marégraphe d'Alger.

b) Marégraphe de Jijel : installé en Mai 2012

Localisation Géographique :

Lat=36° 49' 33.55"N Long=5° 46' 17.93"w

L'altitude du capteur : 3.616m /Zéro Hydro



Fig. 6 Marégraphe de Jijel.

c) Marégraphe d'Oran : installé en mai 2013

Localisation Géographique :
Lat=35° 43' 29.81888"N Long=0° 42' 11.53674"w
L'altitude du capteur : 4.633m /Zéro Hydro



Fig. 7 Marégraphe d'Oran.

3. Détermination de la Reference altimetrique

3.1 Niveau moyen de la mer

Le signal qu'ils transmettent (appelé marégramme) contient donc toutes les informations de montée et descente des eaux lors des phénomènes de marée. Afin d'extraire de ces données l'évolution du niveau de la mer sur plusieurs décennies, il convient de trouver des méthodes pour filtrer les oscillations hautes fréquences de la hauteur d'eau et d'introduire la notion de niveau moyen de la mer **(Mean Sea Level, MSL)** *(Foucher, 2013)*.

Pour déterminer le niveau moyen de la référence vertical en un point nous allons calculer trois niveaux de la mer couramment utilisées :

Le Niveau Moyen journalier de la mer (NMj) : ne sera donc pas une simple moyenne arithmétique des hauteurs d'eau observées sur une journée. En effet, la durée d'un cycle de marée est de 24,84 heures (jour lunaire). Il sera donc nécessaire d'appliquer un filtre passe-bas pour se débarrasser des composantes de marée qui pourraient fausser la moyenne journalière *(Nicolle and Karpytchev, 2007).*

Le Niveau Moyen mensuel de la mer (NMm) : est obtenu de manière simple, en faisant une simple moyenne arithmétique des moyennes journalières sur un mois. Selon les critères du PSMSL (Nicolle and Karpytchev, 2007).

Le Niveau Moyen annuel (NMa) : sera calculé également en effectuant une moyenne arithmétique des NMm, ceux-ci étant pondérés par le nombre de jours pour lesquels des NMj ont été calculés. Conformément aux critères du PSMSL, le NMa n'est calculé que pour les années ayant au moins 11 NMm sur12 **(Gouriou, 2012)**.

3.2 Filtrage

Le filtrage des hauteurs d'eau consiste à associer un coefficient (a) à une grandeur horaire observée h(t), de part et d'autre de l'instant t auquel le filtre est appliqué. En d'autre terme, si l'on souhaite calculer la moyenne journalière du jour j à 12h à l'aide d'un filtre contenant 13 coefficients a(t), on effectuera une moyenne pondérée de part et d'autre de 12h, en attribuant aux 13 valeurs situées avant 12h, et aux 13 valeurs situées après 12h le coefficient (a) propre à chaque valeur.

Différents filtres numériques passe-bas existent pour le calcul du niveau moyen journalier, contenant plus ou moins de coefficients (a). Parmi ces filtres, nous retrouvons : Doodson (39 hauteurs horaires), Demerliac (71). La qualité de ces filtres est jugée par leur capacité à éliminer les composantes de la marée.

Dans ce travail, nous utiliserons les filtres de Demerliac et Doodson. Les observations de niveau de la mer sont enregistrées en hauteurs horaires, le niveau de la mer s'obtient en effectuant une combinaison linéaire de ces hauteurs **(Pouvreau, 2010)** :

$$\check{N}\,(t_0, M) = \sum_{k=-n}^{n} a_k\,(t_0 + k\Delta)$$

Avec :

Ň: le niveau moyen de la mer ;

a_k : une suite de coefficients réels (k=-n·····,n) ;

Δ : le pas d'échantillonnage des hauteurs en heure ;

$M = 2n+1$: nombre d'inconnus.

1) Filtre de Demerliac

Le filtre de Demerliac est un filtre numérique passe-bas qui élimine les composantes cycliques de courte période du signal marégraphique, en particulier les composantes diurnes et semi-diurnes de la marée afin d'obtenir des moyennes filtrées journalières *(Wöppelmann et al., 2006).*

Le filtre sert ausi à isoler les bandes de frequence correspondantes aux différentes especes des ondes marées (figure 8). cette separation permet d'une part de dimineur l'infleunce de bruit sur le resultat de l'analyse et d'autre part de reduire le temps de calcul. Il s'applique à l'analyse des observations periodiques *(Demerliac, 1974).*

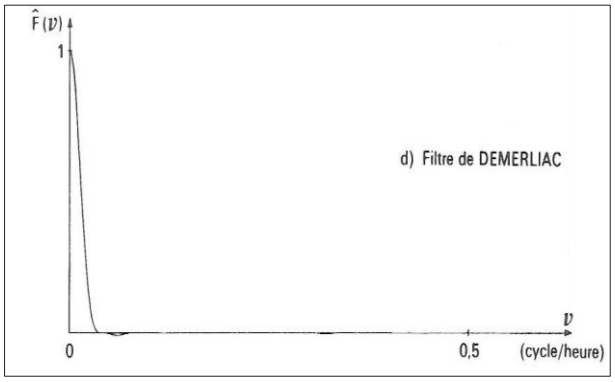


Fig. 8 linéaire de calcul du niveau de la mer

2) Filtre de doodson

Le filtre sépare successivement les différentes espèces à l'aide de combinaisons journalières appropriées des hauteurs puis les regroupes à l'intérieur de chaque espèce à l'aide de combinaisons mensuelles des valeurs précédentes et enfin les sous groupes à l'intérieur de chaque groupe à l'aide des combinaisons annuelles (figure 9).

La séparation n'est pas parfaite mais en tient compte des résidus les plus importants dans les expressions finales (Gouriou, 2012).

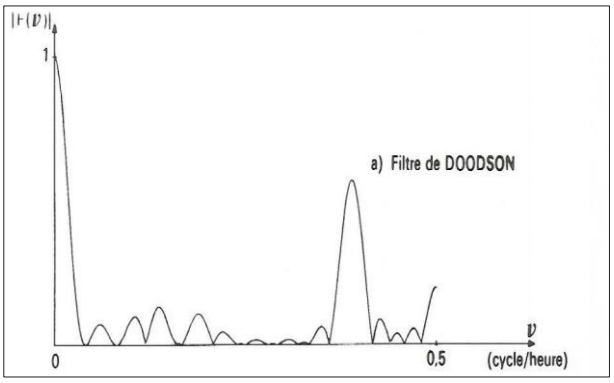


Fig. 9 Filtre linéaire de calcul du niveau de la mer.

3) Filtre de T_tide

T_tide est une boîte à outils (ou toolbox en anglais) contenant plusieurs programmes écrits au format MATLAB et permettant de réaliser une analyse harmonique et des prédictions de marée. La première version de t_tide est apparue en décembre 2001, écrite par Pawlowicz et al. *(Pawlowicz et al., 2002).*

4. Données utilisées

Les données traitées dans ce mémoire 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", Ces données s'étalent sur des différentes périodes d'observation continues, du 13/12/2011 au 11/05/2015 pour la station d'Alger, du 10/05/2013 au 10/06/2014 pour la station de Oran et du 22/05/2012 au 27/02/2015 pour la station de Jijel. Toutes ces données sont échantillonnées à 1 minute d'intervalle.

Les mesures issues de ce type de marégraphe sont réparties en quatre fichiers sous format CSV (Comma-Separated Values) contenant (Rami et al., 2016):

- Hauteurs de la mer à chaque minute (m) ;
- Pression atmosphérique à la surface de la mer à chaque mesure (hPa) ;
- Vitesse du vent et sa direction (m/s, °) ;
- Pression atmosphérique, température et pluviométrie.

5. Résultats et analyse

Un filtre passe-bas a été utilisé pour éliminer les observations aberrantes, un échantillonnage sur une heure a permis d'avoir deux fichiers horaires des mesures du niveau de la mer et de la pression pour chaque station. Les mesures de pression ont permis de corriger les observations de l'effet du baromètre inverse. Les observations corrigées des mesures aberrantes et de l'effet du baromètre inverse sont représentées dans les figures suivantes.

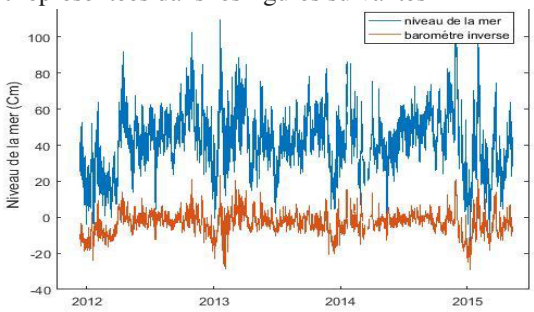


Fig. 10 Observations marégraphiques : Station d'Alger

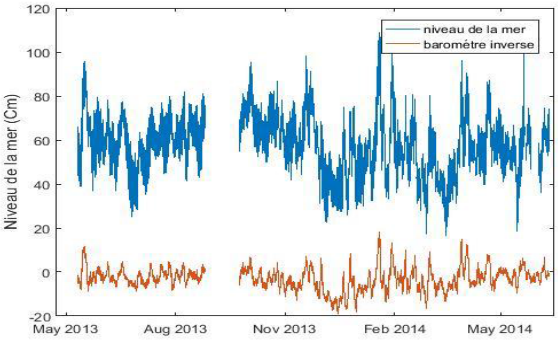


Fig. 11 Observations marégraphiques : Station d'Oran

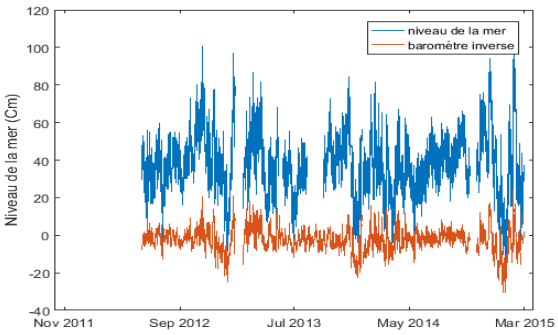


Fig. 12 Observations marégraphiques : Station de Jijel

Les meures échantillonnées et corrigées sont traitées par les filtres de Doodson, de Demerliac et par T-tide, à fin de calculer le niveau moyen de la mer à chaque station marégraphique.

Les résultats du traitement pour chaque station sont représentés dans le tableau suivant :

Tab 1. Le niveau de la mer à chaque station (Cm).

Filtre / Station	Filtre de Doodson	Filtre de Demerliac	T-TIDE
Alger	42,2	42,3	42,5
Oran	58	58	58.4
Jijel	37.2	37.2	37.4

On peut dire donc, que le niveau de référence altimétrique déterminé à Alger oscille à 42.3 cm par rapport au zéro hydrographique, soit 8.3 cm par rapport à la référence actuelle (34 cm), à Oran, il est à environ 58.2 cm soit 24.2 cm de différence et il est à 37.3 cm à Jijel, soit 3.3 cm de différence par rapport la référence actuelle.

Tab 2. altitude des repères de la marée aux ports d'Alger, de Jijel et d'Oran.

Marégraphe	Repère de la marée	Latitude (WGS-84)	Longitude (WGS-84)	Altitude NGA (m)	Nouvelle Altitude (m)
Alger	GPS4	36° 47' 04.20"N	3° 04' 04.59"E	1.2008	1.1178
Jijel	Re	36° 49' 33.54"N	5° 46' 17.93"E	1.8445	1.8115
Oran	GPS1	35° 43' 29.82"N	0° 42' 11.68"w	2.1311	1.8891

6. Conclusion

Le traitement des données marégraphiques issues de ces trois stations et qui s'étalent sur plusieurs années, par le filtres de Doodson, de Demerliac et T_tide nous a permis de déterminer le niveau de la mer à chaque station. Les résultats obtenus ont aussi permis la définition d'un Système de référence Altimétrique pour l'Algérie.
L'installation de nouvelles stations marégraphiques, notamment à Ténès (Chlef), Ghazaouet (Tlemcen) et Annaba, va surement améliorer la précision sur la définition d'un système de référence altimétrique national.

References and Bibliography

Demerliac, M., 1974. Calcul du niveau moyen journalier. Ann. Hydrogr. SHOM 5, 49–57.

Foucher, Q., 2013. Estimation de l'évolution du niveau moyen de la mer à partir des mesures marégraphiques. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

General Acoustic, 2007. Log-a Level user Manual for Stationary and Mobile Version.

Gouriou, T., 2012. Evolution des composantes du niveau marin à partir d'observations de marégraphie effectuées depuis la fin du 18ème siècle en Charente-Maritime.

Haddad, M., Abdellaoui, H., Amrane, N., 2006. Determination of the Mean Sea Level at Algiers Harbour From the Tidal Data Analysis. Bull. Sci. Géographiques 18, 18–20.

INCT, 2007. Rapport national de l'Algérie,. Presented at the XXIV IUGG General Assembly, Italy.

Journal Officiel, 2003. les systèmes de référence des coordonnées géographiques, planimétriques et altimétriques relatifs au territoire national.

Nicolle, A., Karpytchev, M., 2007. Evidence for spatially variable friction from tidal amplification and asymmetry in the Pertuis Breton (France). Cont. Shelf Res. 27, 2346–2356.

Pawlowicz, R., Beardsley, B., Lentz, S., 2002. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. Comput. Geosci. 28, 929–937.

Pouvreau, N., 2010. Vers une coordination de l'observation du niveau de la mer en France. XIièmes Journ. Natl. Génie Civ.-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. Bull. Sci. Géographiques 30, 2–10.

SHOM, n.d. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM). Documentation de MAS. Fascicule : mode opératoire n°2007-061.

Wöppelmann, G., Zerbini, S., Marcos, M., 2006. Tide gauges and Geodesy: a secular synergy illustrated by three present-day case studies. Comptes Rendus Geosci. 338, 980–991.

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: يُعرَّف 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 السعات 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 quartes 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 XXe 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) :**

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

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 déterminer par traitement des observation 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) :**

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

Où :

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

$C_i = A_i \cos\phi_i$

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 installé 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 coté, 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 :

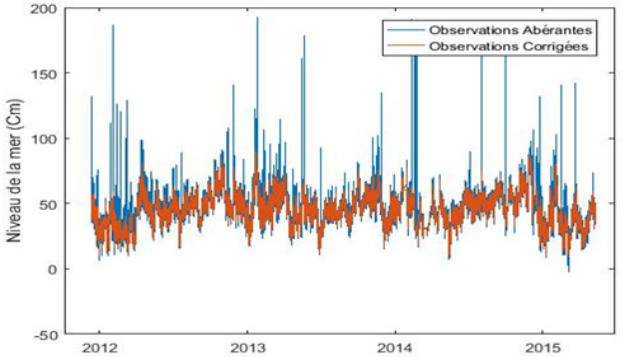


Fig. 2 Correction des mesures brutes de la station marégraphiques d'Alger des observations aberrantes.

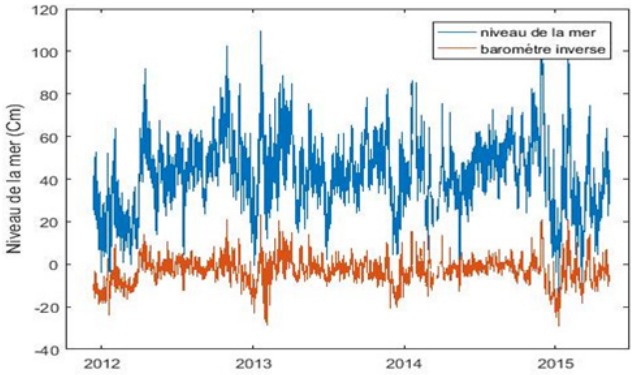


Fig. 3 Représentation des mesures échantillonnées par heure et corrigées de l'effet du baromètre inverse (Alger).

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 carrées, crée par Codiga en 2011 dans le but de détermine 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 (≈2,12Cm).

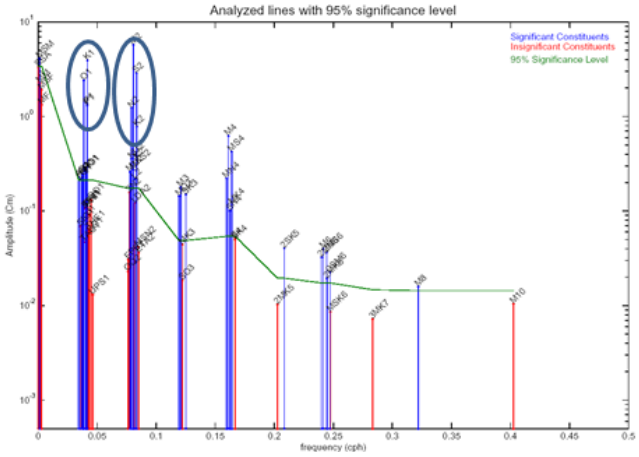


Fig. 4 Spectre des composantes harmoniques de la marée d'Alger en échelle logarithmique.

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) :

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

Où :

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

- R < 0,25 la marée est de type semi-diurne ;
- 0,25 ≤ R < 1,5 le type de la marée est semi-diurne à inégalités diurnes ;
- 1,5 ≤ R < 3 la marée est dite mixte ;
- R ≥ 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 :

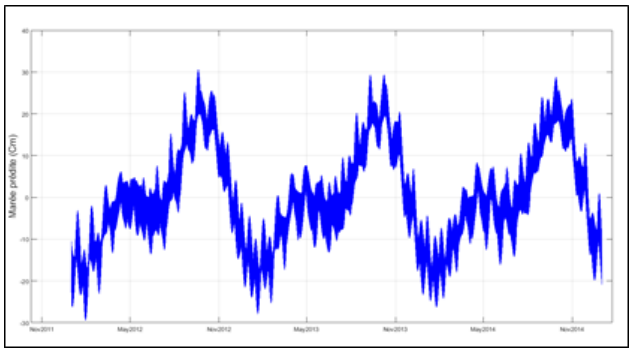


Fig.5 Reconstruction de l'effet de la marée au niveau de la mer du 2012 au 2014

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

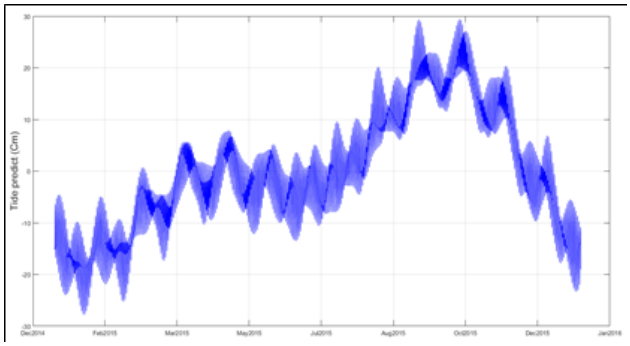


Fig.6 Prédiction de l'effet de la marée au niveau de la mer pour l'année 2015

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 année 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 perceptive, l'intégration des données complètes (fréquence, température, pression) d'une longue période va surement nous permettre de déterminer avec précision les composante harmonique 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. XIièmes 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.

Détermination du Zéro Hydrographique par Traitement des Données Marégraphiques

T. Benkouider, A.Rami
Centre des Techniques Spatiales, Arzew, Oran - Algérie

الملخص: الهدف من هذا العمل تحديد الصفر الهيدروغرافي على مستوى الموانئ الثلاثة في الجزائر (الجزائر ووهران وجيجل) ، وهذا المستوى هو تقدير لمستوى أدنى مستوى ممكن من البحار الفلكية ، حسب توصيات وزارة الخارجية. (IHO المنظمة الهيدروغرافية الدولية).

يتم إدراجه في نظام مرجعي أرضي، إما فيما يتعلق بنقطة مرجعية مادة ثابت يقع بالقرب من مقياس المد الأرضي، أو فيما يتعلق بسطح مرجعي، وذلك لضمان الحفاظ عليه على المدى الطويل وبالتالي السماح باستخدام المسوحات التي تم إجراؤها باستمرار في فترات مختلفة. يجب أن يكون هذا السطح مرتبطًا بنظام مرجعي دولي مثل ITRF (الإطار المرجعي الأرضي الدولي).

معالجة البيانات من محطات المد والجزر الثلاث التي تغطي الفترة من 2011/12 إلى 2015/08 ، عن طريق التحليل التوافقي للمد والجزر من أجل تحديد الهيدروغرافيا الصفرية في كل محطة قياس المد والجزر.

الكلمات الرئيسية: المكونات التوافقية ، المد الفلكي.

Résumé: L'objectif de ce travail est de déterminer le Zéro Hydrographique au niveau des trois ports en Algérie (Alger, Oran et Jijel), ce niveau est une estimation du niveau des plus basses mers astronomiques possible, selon les recommandations de l'OHI (Organisation hydrographique internationale).

Il est coté dans un référentiel terrestre, soit par rapport à un repère matériel stable situé à proximité d'un marégraphe terrestre, soit par rapport à une surface de référence, de manière à assurer sa conservation sur le long terme et à permettre ainsi d'utiliser avec cohérence des levés effectués à des époques différentes. Cette surface devra être rapportée à un système de référence internationale tel que l'ITRF (International Terrestrial Reference Frame).

Un traitement des données issues des trois stations marégraphique couvrant la période du 12/2011 au 08/2015, par analyse harmonique de la marée à fin de déterminer le Zéro Hydrographique à chaque station marégraphique.

Mots clés : composantes harmoniques, marée astronomique.

Abstract: The objective of this work is to determine the Hydrographic Zero at the level of the three ports in Algeria (Algiers, Oran and Jijel), this level is an estimate of the level of the lowest astronomical seas possible, according to the recommendations of the IHO (International Hydrographic Organization).

It is listed in a terrestrial reference system, either in relation to a stable material reference point located near a terrestrial tide gauge, or in relation to a reference surface, so as to ensure its conservation over the long term and thus allow to consistently use surveys taken at different times. This surface must be related to an international reference system such as the ITRF (International Terrestrial Reference Frame).

Processing of data from the three tide stations covering the period from 12/2011 to 08/2015, by harmonic analysis of the tide in order to determine the Hydrographic Zero at each tide gauge station.

Keywords: harmonic components, astronomical tide.

1. Introduction

Le Zéro Hydrographique ou Zéro des cartes marines est le niveau de référence commun aux cartes marines et aux annuaires de marée, à partir duquel sont comptées d'une part les profondeurs portées sur les cartes et d'autre part les hauteurs d'eau résultantes des calculs de marées *(Wöppelmann, 1999)*. C'est un niveau de référence pour la mesure des profondeurs (sondes des cartes) et des dénivellations de marée (hauteurs de marée), il permet au marin de connaitre la profondeur d'eau quelle que soit l'amplitude de la marée *(Simon, 2007)*.

Le Zéro Hydrographique théorique est défini comme étant le niveau des plus basses mers astronomiques, il s'agit d'un niveau théorique sous lequel le niveau de la mer ne descend que très exceptionnellement.

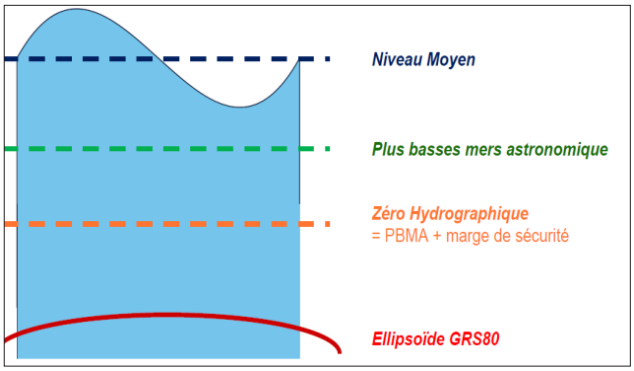


Fig.1 Zéro Hydrographique

En pratique, selon les recommandations de l'OHI, le Zéro Hydrographique est le niveau des plus basses mers astronomique plus une marge de sécurité varie entre 10 et 50cm. (SHOM, 2013)

2. Méthodologie

Les techniques et les données nécessaires qui permettent à contribuer à l'accès au Zéro Hydrographique sont (SHOM, 2011) :

- Le marégraphe, qui est l'élément principal du processus employé actuellement pour déterminer le Zéro Hydrographique.
- Le nivellement, pour rattacher les cotes des repères de marée dans une même référence verticale.
- Le GPS, pour exprimer la position des repères de marée par rapport à l'ellipsoïde.

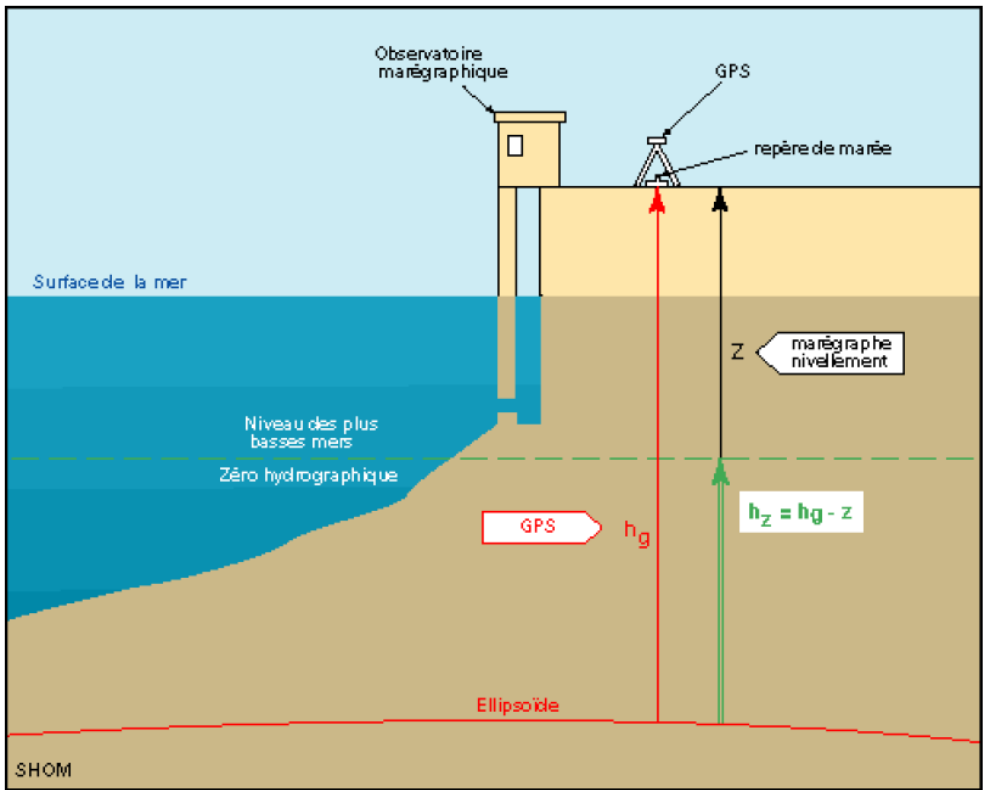


Fig.2 Détermination du Zéro hydrographique.

2.1 Détermination du niveau moyen de la mer par rapport à l'ellipsoïde de référence WGS84

La hauteur ellipsoïdale du niveau moyen de la mer H_e_NM déterminée par GPS est rapportée à la référence altimétrique par la formule suivante:

$$H_e\_NM = H_e\_RM + \Delta h - H_{TG} \qquad (1)$$

$H_e_$RM : Hauteur ellipsoïdale du repère de la marée : déterminer avec un rattachement géodésique du repère de la marée dans un système de référence mondial par GPS.

Δh : Dénivelée entre le repère de marée et le capteur du marégraphe : calculé par nivellement de précision.

H_{TG} : Niveau moyen de la mer par rapport au capteur du marégraphe, issue du traitement des observations marégraphique *(Rami et al., 2016)*.

2.2 Calcul du Zéro Hydrographique

La hauteur ellipsoïdale du Zéro Hydrographique H_e_ZH représente la différence entre la hauteur ellipsoïdale du Niveau de la mer et la valeur minimale de la marée, soit *(Wöppelmann, 1999):*

$$H_e\_ZH = H_e\_NM - Tide_{PBM} \qquad (2)$$

H_e_ZM: Hauteur ellipsoïdale du Zéro Hydrographique.

H_e_ZM : Hauteur ellipsoïdale du Niveau de la mer.

$Tide_{PBM}$: Valeur minimale de la marée calculée par analyse spectrale des composantes.

3. Données utilisées

Les données marégraphiques utilisées pour ce travail est essentiellement constitué des mesures brutes enregistrées, par les marégraphes installés à Alger, Oran et Jijel et fournies par l'institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT).

Ces données s'étalent sur des différentes périodes d'observation continues, du 13/12/2011 au 11/05/2015 pour la station d'Alger, du 10/05/2013 au 10/06/2014 pour la station d'Oran et du 22/05/2012 au 27/02/2015 pour la station de Jijel. Toutes ces données sont échantillonnées à 1 minute d'intervalle.

4. Résultats et analyse

Les observations brutes de niveau de la mer sont corrigées des mesures aberrantes en appliquant le filtre Hampel qui utilise une fenêtre coulissante de largeur configurable pour parcourir les données en tenant compte du nombre

d'observations de chaque côté (*Rami et al., 2016)*.

Par exemple, la figure 3 représente les données butes et les données corrigées des observations aberrantes de la station d'Alger.

Toutes ces données sont par la suite, échantillonnées sur une heure et corrigées de l'effet du baromètre inverse.

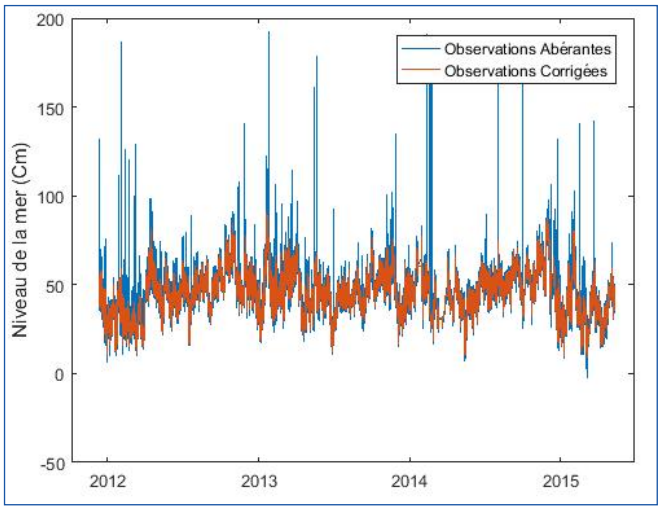


Fig. 3 Correction des mesures brutes de la station marégraphiques d'Alger des observations aberrantes.

Le traitement des données marégraphique par T-tide (Classical tidal harmonic analysis) nous permet de calculer le niveau moyen de la mer et les différentes composantes harmoniques (*Pawlowicz et al.c, 2002*).

La reconstruction de la marée astronomique à partir descomposantes harmoniques identifiées pour chaque station marégraphiques et représentées dans les figures ci-dessous, nous permet de calculer la valeur des plus basses mers.

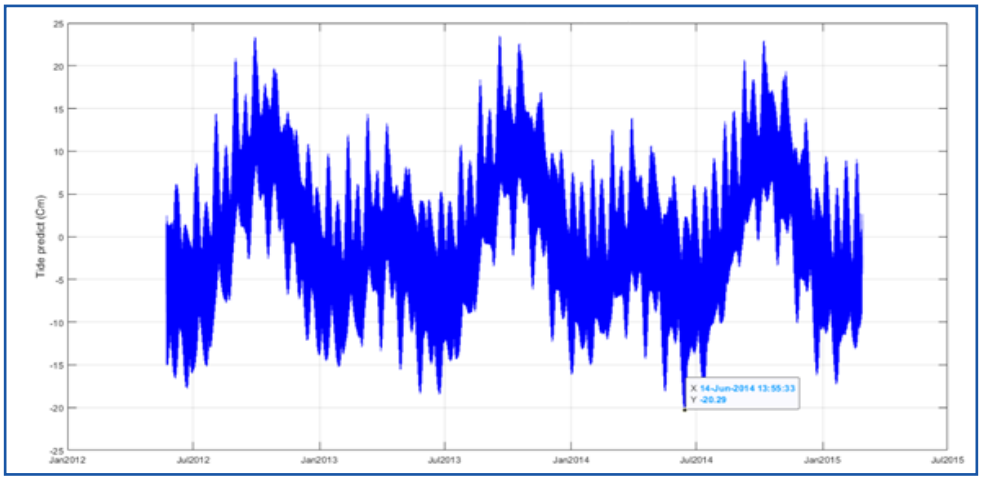


Fig. 4 Reconstruction de la marée - Station d'Alger.

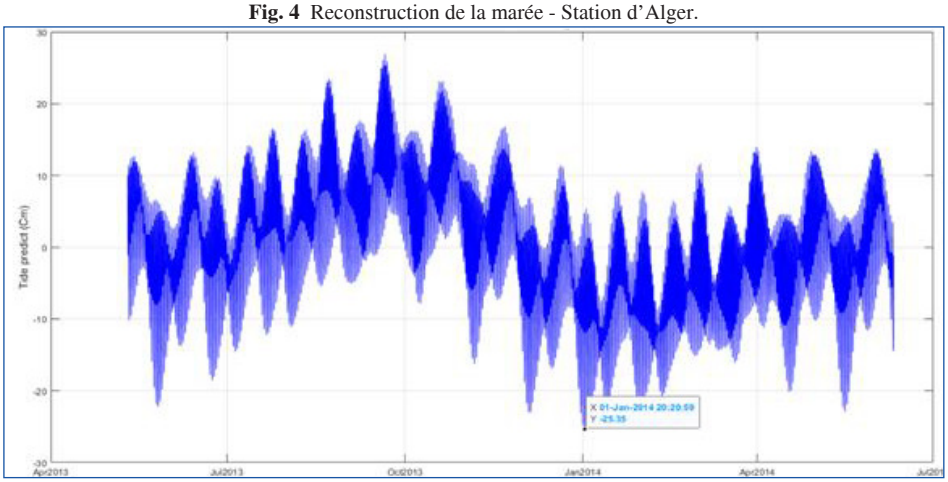


Fig. 5 Reconstruction de la marée - Station d'Oran.

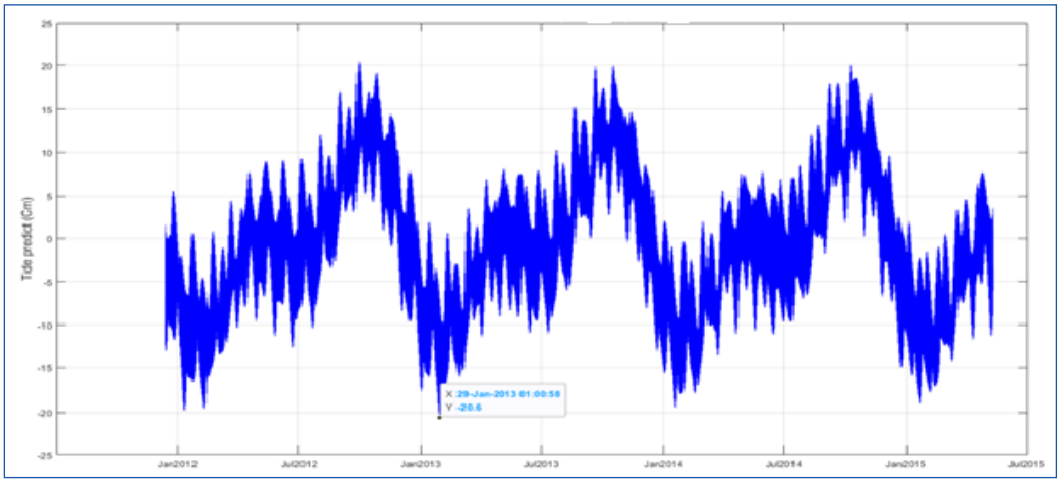


Fig. 6 Reconstruction de la marée - Station de Jijel.

La hauteur ellipsoïdale du Zéro Hydrographique H_(e-) ZH calculée pour chaque station en se basant sur l'équation 1 et 2 est représentée dans le tableau suivant.

Tab. 1 Zéro Hydrographique par rapport à l'ellipsoïde de référence.

Station marégraphique	φ_{RM}	λ_{RM}	$H_{e-}RM$ (m)	$H_{e-}NM$ (m)	$Tide_{PBM}$ (m)	$H_{e-}ZH$ (m)
Alger	36° 47' 04.20''N	3° 04' 04.59''E	46.875	45.775	-0.206	45.569
Oran	35° 43' 29.82''N	0° 42' 11.68''E	50.532	48.563	-0.254	48.309
Jijel	36° 49' 33.54''N	5° 46' 17.93''E	45.981	44.178	-0.203	43.975

Les résultats obtenues aux trois stations marégraphiques montre que le Zéro Hydrographique est situé à 20.6 cm, à 25.4 et à 20.3 cm au-dessous du niveau moyen de la mer, respectivement à Alger, Oran et Jijel.

5. Conclusion

Dans ce travail, l'exploitation des données marégraphiques est basée sur une estimation précise de la position du Zéro Hydrographique dans trois zones différentes, en s'appuyant sur la technique de l'analyse harmonique.

L'analyse des résultats a montré que le niveau des plus basses mers astronomiques par apport au niveau moyen est situé à -20.6 cm au port d'Alger, à -25.4 cm au port d'Oran et à -20.3 au port de Jijel.

Ces résultats pourraient être réajustés en fonction de l'évolution du niveau de la mer.

Notons également que notre estimation dépend de la marée. Par contre il est assez sensible aux conditions météorologiques, en particulier au vent et à la pression atmosphérique persistants peut engendrer des marnages beaucoup plus importants que la marée astronomique.

En perspective, la collaboration CTS/INCT, pourrait également envisager d'analyser des séries de données marégraphiques de longue durée qui permettra la définition du Zéro Hydrographique le long de la bande littorale de l'Algérie.

Références bibliographiques

Pawlowicz R., B. Beardsley and S. Lentz (2002). Classical tidal harmonic analysis including error estimates in Matlab using T-tide. Computers and Geosciences 28(8)929-937.

Rami, A., Nechimi, M., Benkouider, T., 2016. Traitement du signal marégraphique par analyse harmonique pour la détermination d'une référence altimétrique pour l'Algérie. Bull. Sci. Géographiques 30, 2–10.SHOM (2013).

SHOM (2011). Références Altimétriques Maritimes. Côtes du Zéro Hydrographique et niveaux caractéristiques de la marée.

Simon, B. (2007). La marée océanique côtière, Paris: Institut océanographique.

Wöppelmann G,Allain S,Bahurel P,Lannuzel S,Simon B, Zéro hydrographique vers une détermination globale ,Revue XYZ-N°79-2° Trimestre 1999.

Effet des seiches sur le signal de la marée d'un littoral microtidal. Cas du Port d'Alger

Zerrouki Chawki[1] et Hemdane Yacine[1]
[1]Laboratoire Géo-Environnement, Faculté des Sciences de la Terre, Géographie et Aménagement du Territoire, Université Houari Boumediene, BP 32, El-alia, Algiers, Algeria
[1]czerrouki@usthb.dz

ملخص: يوفر تحليل بيانات قياس المد فهما أفضل للموجات البحرية المدرجة في إشارة مستوى سطح البحر العالمية. ويمكن أن يتعلق هذا الأخير بالموجات السطحية التي تتراوح بين الترددات العالية مثل الموجات والانتفاخات وموجات الترددات المنخفضة جدا (أي المد والجزر وفترات ترتيب الساعات والأيام). وقد أتاح هذا العمل تحليل بيانات قياس المد من مقياس المد في المكتب الوطني للإشارات البحرية، الذي تم تركيبه في ميناء الجزائر العاصمة، من أجل فهم تأثير اضطراب الغلاف الجوي على إشارة المد والجزر لساحل المد والجزر. وتتعلق الإشارات المختارة بفترة من الهياج المنخفض حيث كانت الأمواج الجوية ضعيفة وفترة أخرى اتسمت بهياج كبير. وقد أظهرت المراقبة والتحليل الطيفي لهذه الإشارات أنه بالنسبة للسواحل المدية الدقيقة ذات المد المنخفض جدا، قد يكون من الصعب تحديد إشارة المد والجزر أثناء الظروف الجوية. كما أظهرت النتائج أنه حتى أثناء الهياج المنخفض، لوحظ انخفاض الحبار على إشارة مستوى سطح البحر الإجمالية

الكلمات الأساسية: مستوى سطح البحر، مقياس المد والجزر، المد والجزر، الحبار، الاضطرابات الجوية.

Résumé: L'analyse des données marégraphiques permet de mieux comprendre les ondes marines comprises dans le signal global du niveau de la mer. Ce dernier peut concerner des ondes de surface allant des hautes fréquences comme les vagues et les houles aux ondes de très basses fréquences (ie, marée, périodes de l'ordre d'heures et de jours). Ce travail a permis l'analyse des données marégraphiques issues du marégraphe de l'Office National de la Signalisation Maritime (ONSM), installé au niveau du port d'Alger, en vue de comprendre l'impact de la perturbation atmosphérique sur le signal de la marée d'un littoral microtidal. Les signaux choisis concernent une période de faible agitation où les ondes météorologiques ont été faibles et une autre période caractérisée par une agitation considérable. L'observation et l'analyse spectrale de ces signaux ont permis de montrer que pour les côtes microtidales à très faible marnage, le signal de la marée pourrait être difficilement identifiable lors des conditions météorologiques. Aussi, les résultats ont permis de montrer que même lors d'une faible agitation, de faibles seiches sont observées sur le signal global du niveau de la mer.

Mots clés : Niveau de la mer, marégraphe, marée, seiches, perturbations atmosphériques.

Abstract: The analysis of tide gauge data allows a better understanding of the sea-level oscillations included in the global sea-level signal. Theses oscillations can concern surface waves ranging from high frequencies such as waves and swells to very low frequency waves (i.e., tides, periods of the order of hours and days). This work has allowed the analysis of sea-level data from the tide gauge of the Office National de la Signalisation Maritime (ONSM), installed at the port of Algiers, in view to understand the impact of the atmospheric disturbances on the tidal signal of a microtidal coast. The analyzed signals concern a period of low agitation and another period characterized by considerable agitation. The observation and spectral analysis of these signals showed that the tidal signal could be not easily identifiable during meteorological conditions. Also, results showed that even during low agitation, weak seiches are present on the global sea level signal.

Keywords: Sea-level, tide gauge, tide, seiches, atmospheric disturbances.

1. Introduction

Les ondes marines de surface concernent l'ensemble des oscillations de la mer qui peuvent être observées en surface. Ces ondes peuvent aller des hautes fréquences comme les vagues et les houles aux ondes de très basses fréquences (ie, périodes de l'ordre d'heures et de jours). La marée océanique est définie comme les variations périodiques du niveau de la mer dues à l'attraction de la lune et aux effets du soleil *(Rami et al. 2016)*. La variation verticale de la marée, marnage, varie significativement à l'échelle du globe. Les côtes peuvent, en l'occurrence, être classées en fonction de leur marnage. Ainsi, les côtes microtidales, mésotidales et macrotidales ont respectivement des marnages < 2 m, entre 2-4 m et > 4 m *(Short 1991)*. Bien que le marnage soit très faible (<< 2 m) sur les côtes Algériennes, d'autres ondes marines non-tidales peuvent s'y produire (Zerrouki and Hemdane 2021) et engendrer possiblement une submersion marine. D'une manière générale, ces ondes peuvent concerner les tsunamis, les météotsunamis/seiches et les ondes infragravitaires *(Zerrouki and Hemdane 2021)*. En effet, présence, notamment simultanée, des seiches, ondes infragravitaires et vagues/houles peuvent engendrer une augmentation significative du niveau de la mer. Cette dernière pourrait causer, par exemple au niveau des bassins portuaires, une submersion marine potentiellement dangereuse. Les seiches et les tsunamis ont les mêmes

échelles temporelles et spatiales, mais liées respectivement aux conditions météorologiques et des forçages sismiques *(Rabinovich and Monserrat 1998)*.

Les ondes d'infragravité (IG) sont des ondes océaniques de surface ayant des fréquences comprises entre 0.004 et 0.04 Hz *(Bertin et al. 2018)*. Les ondes infragravitaires sont principalement générées par les interactions non linéaires des vagues de courtes périodes *(Munk 1946 in Henderson and Bowen 2002)*. Les ondes infragravitaires peuvent contribuer à l'élévation soudaine du niveau de la mer qui pourrait être observées notamment au niveau des côtes à bas-relief et des bassins portuaires. En effet, les IG contribuent significativement à l'érosion côtière durant les tempêtes *(Masselink 1995)* et peuvent, dans certaines conditions, induire une submersion marine.

Ce travail vise à analyser les données marégraphiques issues du marégraphe de l'Office National de la Signalisation Maritime (ONSM), installé au niveau du port d'Alger, en vue de montrer l'effet des ondes météorologiques sur le signal de la marée d'un littoral microtidal.

2. Méthode

La méthodologie appliquée dans ce travail s'est basée sur l'analyse et le traitement de trois signaux marégraphiques issus du marégraphe de l'ONSM installé au niveau du port d'Alger avec une fréquence de mesures est de 0.0033 Hz.

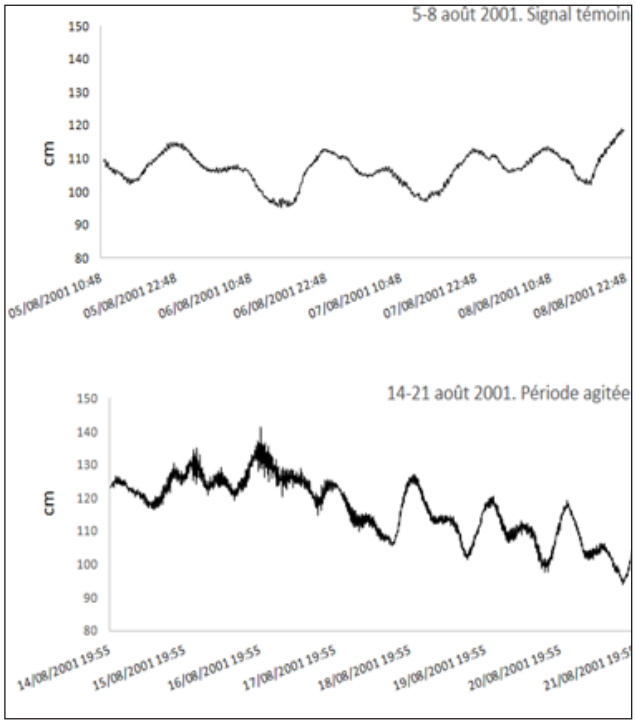


Fig. 1 Signaux marégraphiques du 5-8 août 2001 et du 14 au 21 août 2001. Port d'Alger (Source des données : ONSM).

Les signaux choisis concernent une période de faible agitation du 5-8 août 2001 où les ondes météorologiques ont été faibles, désignée dans cette étude comme période témoin, et une autre période allant du 14 au 21 août 2001 caractérisée par une agitation visible sur le signal du niveau de la mer (Fig.1). En effet, la première observation est effectuée visuellement afin d'identifier les périodes d'étude. Puis, le signal est analysé pour vérifier les éventuelles données manquantes. Une fois ces deux étapes terminées, les signaux sont analysés en leur appliquant l'analyse spectrale de puissance PSD. Cette dernière est effectuée en utilisant la méthode de Welch (Welch 1967).

La méthode d'analyse de densité spectrale de puissance (PSD) utilisée en astronomie, en géophysique, et en océanographie (Vaníček 1969, in Zerrouki 2021) a été adoptée pour l'analyse spectrale de la donnée marégraphique acquise (Zerrouki 2021). Le traitement du signal a été effectué à l'aide de l'environnement de programmation GNU Octave.

3. Résultats et discussion

L'analyse visuelle des résultats (Fig.1) montre que la marée est mieux distinguée durant la période du 5-8 août 2001. En revanche, le signal du niveau de la mer relatif à la période du 14 au 21 août 2001 comprend des perturbations de « hautes » fréquences qui pourraient être liées à une perturbation atmosphérique. Les résultats montrent en outre que la marée est nettement perturbée, notamment entre le 16 et le 17 août 2001.

Les résultats de l'analyse de densité spectrale de puissance (PSD) appliquée aux signaux marégraphiques du 5-8 août 2001 et du 14 au 21 août 2001 montrent qu'en effet pendant la période du 5 au 8 août 2001 la marée est nettement visible dans l'analyse spectrale (Fig.2).

Il est important de souligner que même durant cette période, considérée dans ce travail comme période de faible agitation, des traces de seiches (faibles) sont présentes. Par ailleurs, lors de la période agitée du 14-21 août 2001, les pics fréquentiels relatifs à la marée observée auparavant sont moins prononcés. Les seiches sont, quant à elles, plus prononcées avec des pics fréquentiels relatifs aux périodes de 20 min et 30 min. Ces résultats ont été également obtenus par Zerrouki and Hemdane (2021) et Zerrouki (2021) qui ont attribué ces pics fréquentiels aux seiches induites potentiellement par la résonance portuaire et de celle du plateau continental. Les résultats obtenus dans ce travail ont permis de montrer que pour les côtes microtidales à très faible marnage, le signal de la marée pourrait être difficilement apparent lors des conditions météorologiques. Il est enfin important de souligner que l'érosion côtière est accentuée sur ces littoraux à faible marnage (Bouhmadouche and Hemdane 2016).

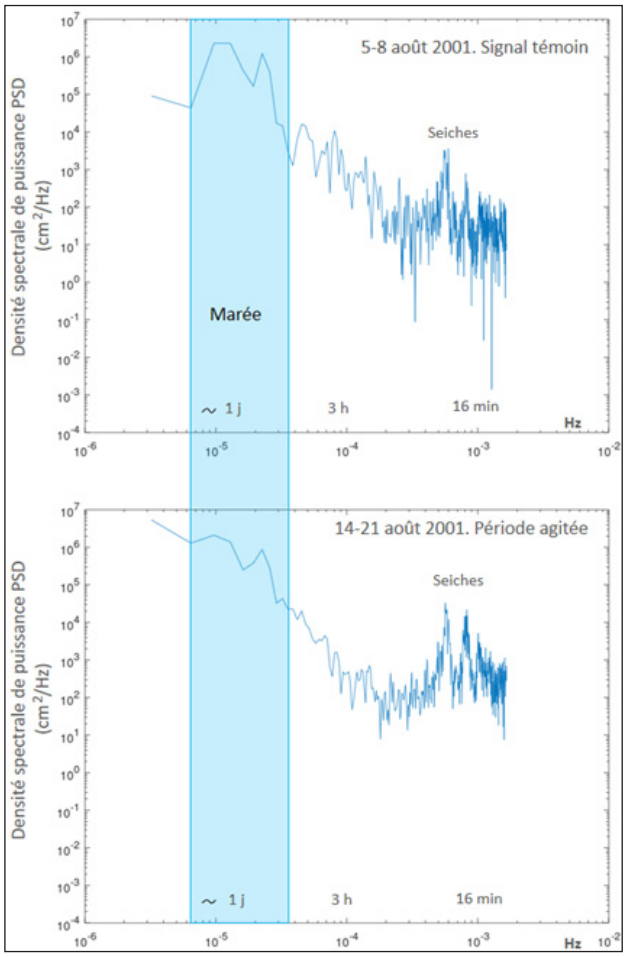


Fig.2 Résultats de l'analyse spectrale des données marégraphiques durant des périodes calme (5-8 août 2001) et agitée (14 au 21 août 2001)

4. Conclusion

La côte Algérienne se caractérise par un marnage très faible (côte microtidale), mais est exposée aux ondes marines induites par les perturbations atmosphériques. Ces dernières peuvent engendrer l'élévation soudaine du niveau de la mer et causer des dégâts au niveau de la côte. Ce travail a mis en exergue l'effet de la perturbation météorologique sur le signal de la marée. En effet, parce que la marée est très faible sur le littoral de la zone d'étude, les seiches pourraient rendre difficile l'observation de la marée. Aussi, ce travail a permis de montrer que même lors des conditions météorologiques faibles, des traces de seiches sont identifiées au niveau du port d'Alger. Enfin, il est important de souligner l'effet des seiches et des ondes infragravitaires sur l'érosion côtière et la submersion marine.

Références bibliographiques

Bertin X, De Bakker A, Van Dongeren A, et al (2018) Infragravity waves: From driving mechanisms to impacts. Earth-Science Rev 177:774–799.

Bouhmadouche M, Hemdane Y (2016) Erosion of a sandy coast: continuous follow-up of the coastal groynes of protection in Boumerdes (Algeria). Environ Earth Sci 75:866.

Henderson SM, Bowen AJ (2002) Observations of surf beat forcing and dissipation. J Geophys Res Ocean 107:. https://doi.org/10.1029/2000jc000498.

Masselink G (1995) Group bound long waves as a source of infragravity energy in the surf zone. Cont Shelf Res 15:1525–1547.

Rabinovich AB, Monserrat S (1998) Generation of meteorological tsunamis (large amplitude seiches) near the Balearic and Kuril Islands. Nat hazards 18:27–55.

Rami A, Nechimi M, Maârouf S, Benkouider T (2016) Tidal Signal Processing by Harmonic Analysis for the Algerian Vertical Reference Determination. ATINER's Conf Pap Ser.

Short AD (1991) Macro-meso tidal beach morphodynamics: an overview. J Coast Res 417–436.

Vaníček P (1969) Approximate spectral analysis by least-squares fit - Successive spectral analysis. Astrophys Space Sci 4:387–391. https://doi.org/10.1007/BF00651344.

Welch P (1967) The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short, modified periodograms. IEEE Trans audio Electroacoust 15:70–73.

Zerrouki C (2021) Etude des mouvements du niveau de la mer, dans une zone portuaire. Cas du littoral centre (Algérie). Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene.

Zerrouki C, Hemdane Y (2021) The study of low-frequency sea-level oscillations: case of Algiers harbor (Algeria). Arab J Geosci 14:528. https://doi.org/10.1007/s12517-021-06921-x.

Importance de la fréquence de mesures du niveau de la mer pour l'étude des risques côtiers

Hemdane Yacine[1] et Zerrouki Chawki[1]
[1]laboratoire Geo-Environnement, Faculte Des Sciences De La Terre, Geographie Et Amenagement Du Territoire, Universite Houari Boumediene, Bp 32, El-Alia, Algiers, Algeria
yhemdane@usthb.dz

ملخص: يتأثر الساحل الجزائري بعدة مخاطر ساحلية مثل الغمر البحري وتآكل السواحل. وتساهم مراقبة الأمواج البحرية مثل الأمواج/الانتفاخات وموجات الأشعة تحت الجاذبية والحبار في تحسين إدارة وتقليل المخاطر الساحلية الناجمة عن هذه الكائنات الهيدروديناميكية. كما أن هذه البيانات الهيدروديناميكية مهمة في أبعاد الهياكل الساحلية. والهدف من هذا العمل هو إظهار أهمية تواتر قياسات مقاييس المد في دراسة المخاطر الساحلية الناجمة عن تقلبات (الأمواج البحرية) لمستوى سطح البحر. وهكذا، تم تحليل إشارتي قياس المد المقيستين بترددات قياس 0.033 هرتز و 1 هرتز من أجل إظهار الإشارات التي اكتشفها هذان الترددان القياسان. وأظهرت النتائج أن قياسات قياس الترددات العالية ستكون أكثر إثارة للاهتمام لأنها، بالإضافة إلى الإشارات المنخفضة التردد، يمكنها أيضا تسجيل الموجات/الموجات وموجات الجاذبية دون الصوتية. ومن المهم التأكيد على أن هذه البيانات مهمة لكل من إدارة المخاطر الساحلية والحد من المخاطر والهندسة الساحلية.

الكلمات الرئيسية: مستوى سطح البحر، مقياس المد والجزر، وتيرة القياسات، المخاطر الساحلية.

Résumé : Le littoral Algérien est concerné par plusieurs risques côtiers comme la submersion marine et l'érosion côtière. L'observation des ondes marines comme les vagues/houles, les ondes infragravitaires et les seiches contribue à une meilleure gestion et réduction des risques côtiers induits par ces forçages hydrodynamiques. Aussi, ces données hydrodynamiques sont importantes dans le dimensionnement des ouvrages côtiers. L'objectif de ce travail est de montrer l'importance de la fréquence de mesures (fs) des marégraphes dans l'étude des risques côtiers induits par les fluctuations (ondes marines) du niveau de la mer. Ainsi, deux signaux marégraphiques mesurés à des fréquences de mesures de 0.033 Hz et 1 Hz ont été analysés en vue de montrer les signaux détectés par ces deux fréquences de mesures. Les résultats ont montré que les marégraphes à haute fréquence de mesures seraient plus intéressants car, en plus des signaux de basse fréquence, ils peuvent également enregistrer les vagues/houles et les ondes infragravitaires. Il est important de souligner que ces données sont importantes aussi bien pour la gestion et la réduction des risques côtiers que pour l'ingénierie côtière.

Mots clés : Niveau de la mer, marégraphe, fréquence de mesures, risques côtiers

Abstract: The Algerian coast is concerned by several coastal risks such as marine submersion and coastal erosion. The observation of waves/swells, infragravity waves (IG) and seiches contributes to a better management and reduction of coastal risks induced by these hydrodynamic forcings. In addition, these hydrodynamic data are important in the design of coastal structures. This work aims to show the importance of the frequency sampling (fs) of tide gauges in the study of coastal risks induced by fluctuations of the sea-level. Thus, two tide gauge signals measured at sampling frequencies of 0.033 Hz and 1 Hz were analyzed to show the signals detected by these two sampling frequencies. Results showed that tide gauges with high sampling frequency would be more interesting because, in addition to low frequency signals, they can also record waves/swells and IG. It is important to emphasize that these data are important both for coastal risk management and reduction and for coastal engineering.

Keywords : Sea-level, tide gauge, sampling frequency, coastal risks

1. Introduction

Le littoral Algérien est concerné par plusieurs risques côtiers comme les tsunamis *(Alasset et al. 2006; Harbi et al. 2011)*, l'érosion côtière (*Bouhmadouche et Hemdane, 2016*) et l'avancée dunaire (*SNGIZC, 2014*). En ce qui concerne les tsunamis, il est important de souligner que le dernier tsunami enregistré sur la côte Algérienne a été induit lors du séisme de Boumerdès (2003). Durant cet événement sismique, des vagues des tsunamis ont atteint des hauteurs de 2m au niveau des Iles Baléares (*Alasset et al. 2006*). D'autres ondes marines peuvent également causer une érosion et/ou une submersion marine comme les vagues (*Bouhmadouche et Hemdane, 2016*), les seiches et les ondes infragravitaires.

Les seiches et les météotsunamis peuvent contribuer à

l'élévation soudaine du niveau de la mer et causer une submersion marine qui est amplifiée sur les côtes à bas-relief. En ce qui concerne les ondes infragravitaires, elles contribuent significativement à l'érosion côtière durant les tempêtes (*Masselink, 1995*).

Il est en outre important de souligner les liens possibles entre ces différentes ondes. Dans une introduction sur les seiches, *(Zerrouki 2021)* mentionne, à titre d'exemple, que « les seiches peuvent être engendrées par les tsunamis (*Rabinovich 1997*), amplifiées par les ondes infragravitaires (*Bertin et al. 2018*) et initiées par les vagues et les houles (*Rabinovich 2009*) ».

Par conséquent, la compréhension des risques induits par les fluctuations du niveau de la mer passe par l'observation et l'identification de toutes ces ondes marines. A titre d'exemple, l'analyse spectrale de puissance PSD (Power Spectral Density) *(Vaníček 1969)* peut aider à identifier les différentes fréquences d'un signal marégraphique global. Ces fréquences sont ensuite utilisées pour l'isolation des différentes ondes marines à partir de l'application de filtres (ie, Filtre de Butterworth).

Cependant, il est important de souligner que l'identification de l'ensemble des ondes marines, qui pourraient se produire, en l'occurrence sur un littoral microtidal, est conditionnée par la fréquence de mesure instrumentale (marégraphe). C'est dans cette optique que s'inscrit ce travail qui présente plusieurs signaux marégraphiques mesurés à des fréquences de mesures de 0.033 Hz et 1 Hz.

2. Méthode

L'objectif de ce travail est de montrer l'importance de la fréquence de mesures (fs) dans l'étude des risques côtiers induits par les fluctuations (ondes marines) du niveau de la mer. Pour ce faire, deux signaux du niveau de la mer ont été analysés. Le premier signal du niveau de la mer a été enregistré par un marégraphe ayant une fréquence de mesures de 0.0033 Hz, installé au niveau du port d'Alger (ONSM). Le second signal a été mesuré par le marégraphe développé au niveau du laboratoire Géo-Environnement (FSTGAT-USTHB), installé au niveau du port de Tamentfoust (est d'Alger) et ayant une haute fréquence de mesures (ramenée à 1Hz). Les signaux originels ont, en premier lieu, été vérifiés pour éviter le problème des données manquantes. Le signal du marégraphe développé au niveau du laboratoire Géo-Environnement (FSTGAT-USTHB), installé au niveau du port de Tamentfoust (est d'Alger), a été mesuré avec une fréquence irrégulière supérieure à 1Hz. De ce fait, la fs relative à ce signal a été organisée et réduite à une fs régulière de 1 Hz. Une analyse spectrale a été ensuite appliquée aux signaux avec la méthode de Welch *(Welch 1967)* et mise en œuvre à l'aide de l'environnement de programmation Octave GNU..

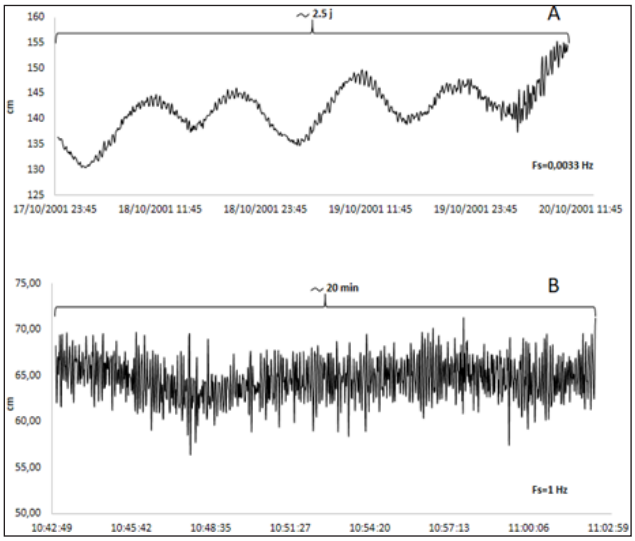


Fig. 1 Signaux marégraphiques du 5-8 août 2001 et du 14 au 21 août 2001. Port d'Alger (Source des données : ONSM)

3. Résultats et discussion

L'observation des résultats obtenus dans ce travail montre que la fréquence de mesure (fs) de 0.0033 Hz est suffisante pour l'analyse des seiches et de la marée. Cependant, les résultats montrent que cette fréquence de mesures ne permet pas de mesurer les ondes infragravitaires (IG) et les vagues/houles. En effet, le court signal (d'environ 20 min) enregistré à une fs de 1Hz à Tamentfoust comprend des fréquences relatives aux vagues et de certains petits pics de fréquences qui pourraient être liées aux IG. Parce que ces ondes pourraient avoir des liens avec les seiches, il serait préférable de s'intéresser à la mesure des hautes fréquences. Il est important de souligner que la connaissance des vagues et des houles peut contribuer à mieux comprendre certains risques côtiers comme l'érosion côtière. A ce sujet, les marégraphes à haute fréquence de mesures peuvent, en outre, fournir cette donnée qui est importante pour le domaine des géosciences marines. Il en est de même pour le domaine de l'ingénierie côtière où le dimensionnement des ouvrages côtiers requiert, entre autres, les données de vagues et des houles à la côte.

4. Conclusion

Ce travail a permis de montrer l'importance de la

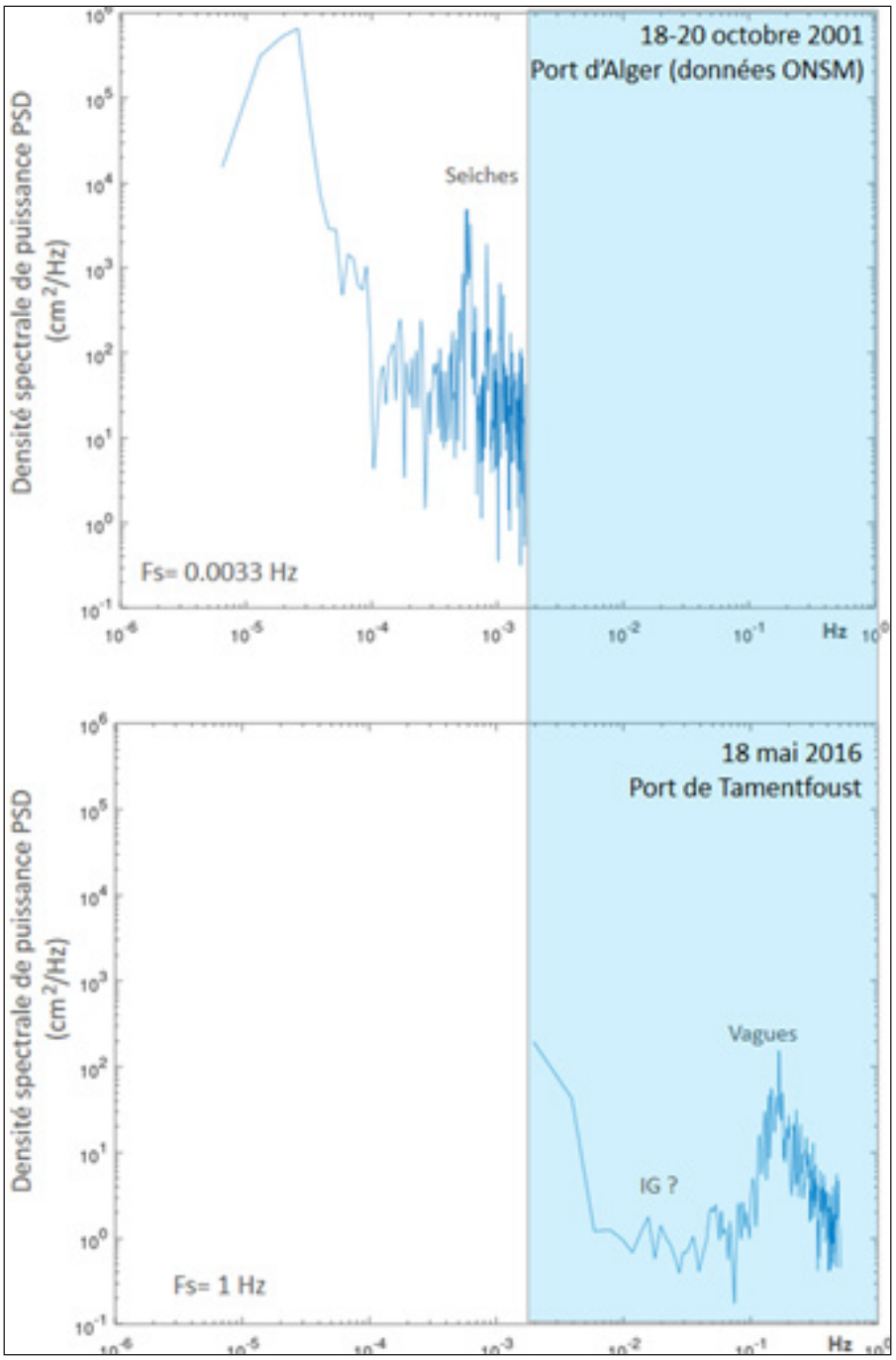


Fig.2 Densité spectrale de puissance (PSD) appliquée aux signaux marégraphiques mesurés à des fréquences de mesures de 0.033 Hz (Port d'Alger. ONSM) et 1 Hz (Port de Tamentfoust).

fréquence de mesures (fs) dans l'étude des risques côtiers induits par les fluctuations (ondes marines) du niveau de la mer. Ainsi, les marégraphes à haute fréquence de mesures seraient plus intéressants car, en plus des signaux de basse fréquence, ils peuvent également enregistrer les vagues/houles et les ondes infragravitaires. Ces données sont, pour rappel, importantes aussi bien pour la gestion et la réduction des risques côtiers que pour l'ingénierie côtière (dimensionnement des ouvrages côtiers).

Références bibliographiques

Alasset PJ, Hébert H, Maouche S, et al (2006) The tsunami induced by the 2003 Zemmouri earthquake (MW = 6.9, Algeria): Modelling and results. Geophys J Int 166:213–226. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.02912.x

Bertin X, De Bakker A, Van Dongeren A, et al (2018) Infragravity waves: From driving mechanisms to impacts. Earth-Science Rev 177:774–799

Bouhmadouche M, Hemdane Y (2016) Erosion of a sandy coast: continuous follow-up of the coastal groynes of protection in Boumerdes (Algeria). Environ Earth Sci 75:866

Harbi, Assia and Maouche, Said (2011). The Djidjelli (Algeria) earthquakes of 21 and 22 August 1856 (I0 VIII, IX) and related tsunami effects Revisited. pages 105–129, Seismol. Journal of Seismology. doi = {10.1007/s10950-010-9212-9}.

Masselink G (1995) Group bound long waves as a source of infragravity energy in the surf zone. Cont Shelf Res 15:1525–1547

Rabinovich AB (1997) Spectral analysis of tsunami waves: Separation of source and topography effects. J Geophys Res Ocean 102:12663–12676. https://doi.org/10.1029/97JC00479

Rabinovich AB (2009) Seiches and harbor oscillations. Handb Coast Ocean Eng Expand Ed 1–2:193–236. https://doi.org/10.1142/9789812819307_0009

Vaníček P (1969) Approximate spectral analysis by least-squares fit - Successive spectral analysis. Astrophys Space Sci 4:387–391. https://doi.org/10.1007/BF00651344

Welch P (1967) The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short, modified periodograms. IEEE Trans audio Electroacoust 15:70–73

Zerrouki C (2021) Etude des mouvements du niveau de la mer, dans une zone portuaire. Cas du littoral centre (Algérie). Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene

Zerrouki C, Hemdane Y (2021) The study of low-frequency sea-level oscillations: case of Algiers harbor (Algeria). Arab J Geosci 14:528. https://doi.org/10.1007/s12517-021-06921-x



Le Bulletin des Sciences Géographiques



Veuillez envoyer vos articles aux adresses électroniques suivantes : bsg@inct.dz et contact@inct.dz

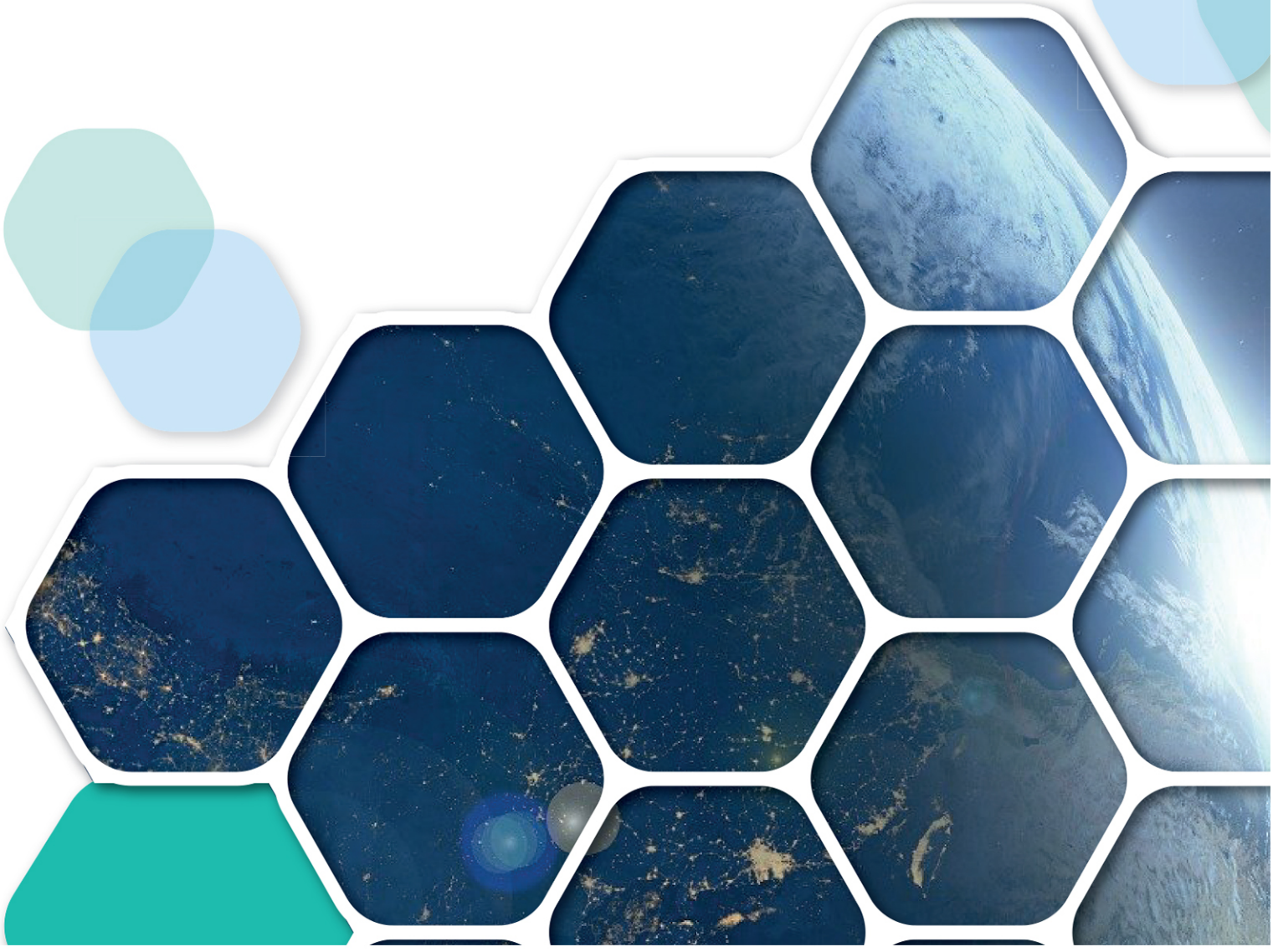
À défaut, à l'adresse postale suivante :
Le Bulletin des Sciences Géographiques
Institut National de Cartographie et de Télédétection
123, Rue de Tripoli, BP 430, 16040 Hussein-Dey-Alger.

- *Le Bulletin des Sciences Géographiques (BSG), l'unique revue en Algérie dans le domaine des sciences géographiques, est édité et publié depuis 1997 par l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT).*

- *Ce Bulletin est un espace de réflexion, d'échange d'informations et de discussion dans lequel, la communauté des sciences géographiques nationale et internationale pourra non seulement valoriser les travaux de ses membres mais également trouver dans celui-ci des informations sur les dernières nouveautés dans le domaine des sciences géographiques.*

- ***Le Comité de Rédaction du BSG fait appel à contribution à toutes les personnalités scientifiques, universitaires et chercheurs au niveau des différents laboratoires et centres de recherche nationaux, spécialisés dans les différentes disciplines liées aux sciences géographiques, et serait heureux de vous compter parmi les auteurs de cette revue dont la périodicité est semestrielle.***

- *Le Bulletin des Sciences Géographiques est désormais indexé dans le fichier national des revues scientifiques de la Direction Générale de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique.*
  Site Web : www.dgrsdt.dz



COVID-19

Restez vigilants

Prévention continue contre le COVID-19



01 Se laver les MAINS



02 Éviter le GROUPEMENT



03 Porter le MASQUE (BAVETTE)



Institut National de Cartographie et de Télédétection

www.inct.mdn.dz