

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

A. Rami¹, M.A. Meslem² et T. Benkouider¹

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 تاريخياً 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 تحولاً طفيفاً بين مرجع مقياس الارتفاع الحالي والذي تم تحديده في ميناء الجزائر (8.4 سم) وميناء جيجل (4.2 سم) وكبير نسبياً 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 (près 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 altimétrique ; 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 Medimarémètre (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 marée

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

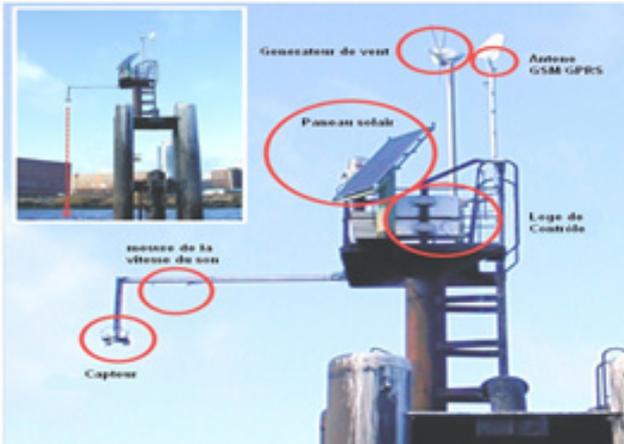


Fig. 2 Marégraphe Acoustique « Log-aLevel ».

2.2 Effets perturbateurs sur le signal marégraphe

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).

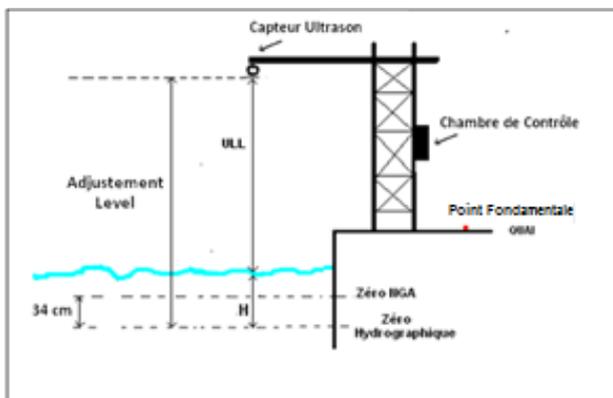


Fig.3 Principe du marégraphe Log-aLevel

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

$h_{c/NGA}$: La hauteur de capteur par rapport au zéro 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 sur 12 (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 :

\check{N} : 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 aussi à isoler les bandes de fréquence correspondantes aux différentes espèces des ondes marées (figure 8). cette séparation permet d'une part de diminuer l'influence de bruit sur le résultat de l'analyse et d'autre part de réduire le temps de calcul. Il s'applique à l'analyse des observations périodiques (Demerliac, 1974).

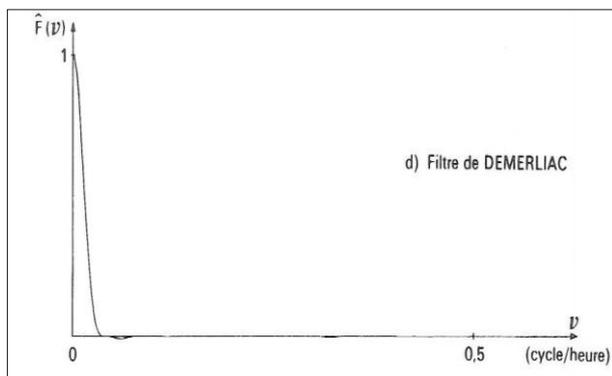


Fig. 8 linéaire de calcul du niveau de la mer

2) Filtre de doodson

Le filtre sépare successivement les différentes espèces à l'aide de combinaisons journalières appropriées des hauteurs puis les regroupe 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).

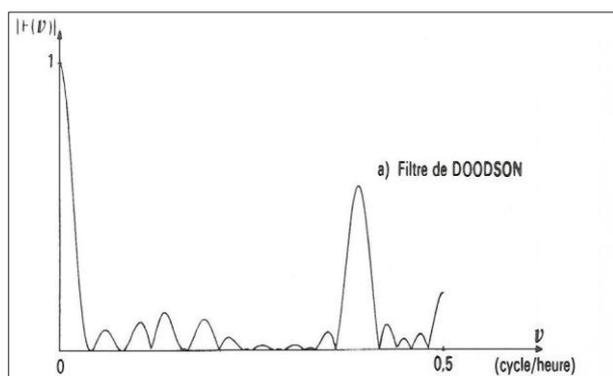


Fig. 9 Filtre linéaire de calcul du niveau de la mer.

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.

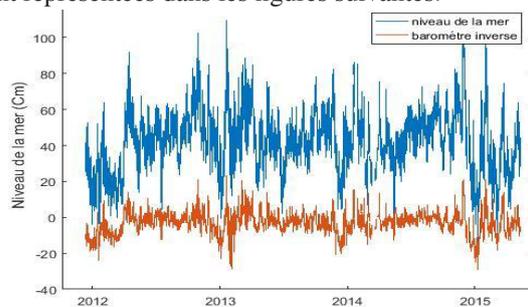


Fig. 10 Observations marégraphiques : Station d'Alger

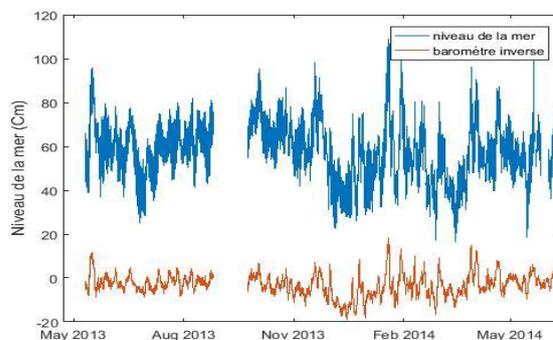


Fig. 11 Observations marégraphiques : Station d'Oran

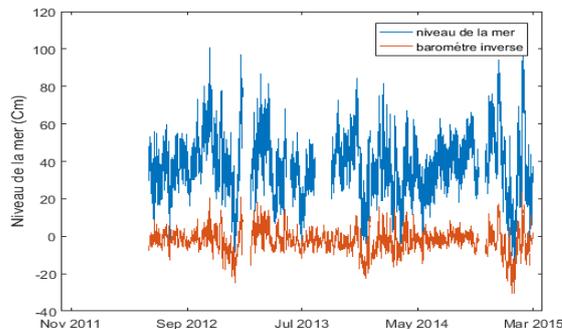


Fig. 12 Observations marégraphiques : Station de Jijel

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).

Station	Filtre 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. XIèmes 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.