

Journées REFMAR

Réseaux de référence des observations marégraphiques

Recueil des posters



27 - 29 mars 2019
Paris - La Défense



Sommaire

Présentation des objectifs de REFMAR

Équipe REFMAR 5

La mesure du niveau de la mer et ses applications

Équipe REFMAR2 6



Mercredi 27 mars

« Quelle résilience du littoral Tunisien face au changement climatique ? »

Adel Abdouli, Fadhel Baccar, Radhia Souissi 7

Dynamique du niveau marin en Manche Orientale

Lisa Baulon, Imen Turki, Benoit Laignel, Stéphane Costa, Marie Jabbar, Kevin Graff 8

Dynamics of January 2018 Eleanor Storm at English Channel

Derya I. Dilmen, Imen Turki, Benoit Laignel, Stéphane Costa, Chai Heng Lim, Edward Salameh 9

Évolution des marées à Dakar : impacts socioéconomiques

M. Anis Diallo 10

Reconstruction des variations du niveau de la mer et dynamique de l'évolution du littoral estuarien

Yannick Fossi Fotsi, Nicolas Pouvreau, Isabelle Brenon, Raphaël Onguene, Jacques Etame, Dieudonné Jombe 11

La base de données « Tempêtes et Submersions historiques »: un support pour une expertise collégiale et interdisciplinaire des informations historiques de tempêtes et de submersions

Nathalie Giloy, Claire-Marie Duluc, Roberto Frau, Yann Ferret, Thomas Bulteau, Franck Mazas, Thierry Franck Mazas, Thierry Sauzeau, Yann Deniaud 12

Historique Observation Modélisation des Niveaux Marins

Didier Jourdan et l'équipe HOMONIM 13

Déterminer le Trait de Côte grâce à la connaissance de la marée

Agnès Laure, Didier Bénêteau, et l'équipe Géomatique du Shom 14

RIVAGES Une application gratuite pour participer à la surveillance du littoral

Frédéric Pons 15

Mesures marégraphiques semi-séculaires au port d'Abidjan (Côte d'Ivoire): Caractéristique et tendance évolutive du niveau marin sur le littoral d'Abidjan

R. Samassy, Monde, S. Sangaré, S.A. Angora, D. Marius 16

Vulnérabilité du littoral du delta du saloum dans un contexte de changement climatique

Sakho I., Sadio M., Camara I., Sall M., Seck A., Noblet M., Diouf M., Machu E., Sow B., Sall S.M., DDiouf B., Faye S. 17

Morphodynamic responses of sandy and gravel beaches to hydrodynamic conditions

Antoine Soloy, Imen Turki, Nicolas Lecoq, Benoît Laignel, David Gutiérrez 18

Cartographie de l'évolution du trait de côte de Port-Bouet (Côte d'Ivoire) à l'aide de l'outil MOBIC

Jacques André Tiemele, Jean-Médard Bouaffou, Abaka Brice Hervé Mobio, Eric M'moi Valère Djagoua 19

Multi-scale Sea Level Dynamics of English Channel Coasts

Imen Turki, Nicolas Massei, Lisa Baulon, Marie Jabbar, Derya Dilmen, Kevin Graff, Stéphane Costa, BeBenoit Laignel 20

 **Jeudi 28 mars et vendredi 29 mars**

Tide-gauges Network and Altimetric Reference in Algeria <i>Hassen Abdellaoui, Abdelkader Menasri, Mohamed Aïssa Meslem</i>	22
Le projet GEODESIE : les références géodésiques au service de l'observation du niveau des mers <i>D. Coulot et l'équipe du projet GEODESIE (cf. B)</i>	23
Significations climatique et eustatique des phases d'éolianisation holocènes et leur impact socio-économique en Tunisie méridionale <i>A. Essid, M. Ouaja, K. Regaya, M. Mansoura, J.-Y. Reynaud</i>	24
Estimation des tendances des variations du niveau de la mer Méditerranée à partir des données des marégraphes et d'altimétrie satellitaire <i>Haddad Mahdi, Taïbi Hebib</i>	25
Étude des Marées sur les Côtes béninoises de 2011 à 2017 <i>Houngue Guy Hervé, Sohou Zacharie, Okpeitcha O. Victor, Degbe Georges, Adje Christian</i>	26
Amélioration de la caractérisation des performances des marégraphes lors de campagnes d'inter-comparaison <i>Kevin Gobron, Olivier de Viron, Guy Woppelmann, Etienne Poirier, Michel Van Camp</i>	27
Proposition d'une nouvelle échelle de marée circulaire sèche <i>Yacine Hemdane, Chawki Zerrouki, Bachir Hamadache et Mohamed Bouhmadouche</i>	28
Création de DOI sur un jeu de données <i>E. Prouteau, P. Téchiné, R. Lhullier, N. Pouvreau</i>	29
Le Réseau d'Observation Subantarctique et Antarctique du niveau de la Mer <i>P. Téchiné, L. Testut, M. Calzas, A. Guillot, C. Guillerm, C. Drezen, C. Brachet, T. Donal, E. Poiri</i>	30
RONIM <i>Équipe RONIM</i>	31



Mercredi 27 mars



Le Shom est le référent national pour l'observation *in situ* du niveau de la mer sur l'ensemble des zones sous juridiction française. Sous le vocable REFMAR, il assure différentes fonctions de coordination en matière de collecte et de diffusion des données publiques relatives à l'observation de hauteurs d'eau, de manière à promouvoir leur utilisation dans de multiples applications.

QU'EST-CE QUI FAIT VARIER LE NIVEAU DE LA MER ?

Le niveau de la mer varie à différentes fréquences temporelles suivant des phénomènes d'origines diverses : l'attraction de la Lune et du Soleil (les marées), les effets météorologiques, les séismes et les mouvements de terrain, le changement climatique.

LES MISSIONS DE REFMAR

- coordonner la collecte des observations du niveau de la mer réalisées par les établissements et services publics ;
- gérer et archiver en temps différé les observations collectées ;
- définir les réseaux et les spécifications minimales d'observation du niveau de la mer ;
- définir et promouvoir des moyens de transmission opérationnels adaptés ;
- coordonner la diffusion en temps réel et en temps différé des observations ;
- contrôler la conformité des observations reçues ;
- définir, diffuser, promouvoir et suivre les normes nationales et internationales (GLOSS) ;
- contribuer à la représentation de la France dans les organisations d'observation internationales et communautaires.



ACCÈS AUX INFORMATIONS RELATIVES À LA MARÉGRAPHIE :
<http://refmar.shom.fr>
ACCÈS AUX MESURES DE HAUTEURS D'EAU :
<https://data.shom.fr/donnees/refmar>



COMPÉTENCE DE REFMAR SUR TOUTES ZONES SOUS JURIDICTION NATIONALE



REFMAR, sous pilotage du Secrétariat général de la mer

reçoit le soutien de plusieurs ministères

La coordination REFMAR donne accès aux observations des organismes suivants :

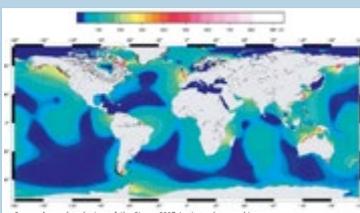


La mesure du niveau de la mer et ses applications

SUIVI DU RÉSEAU DE MARÉGRAPHES



ÉTUDE DE LA MARÉE



Amplitude de la marée dans le monde

PRÉDICTION DE MARÉES



<http://maree.shom.fr>

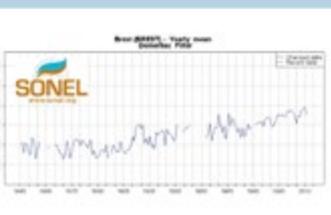
OBSERVATOIRES MARÉGRAPHIQUES



<http://refmar.shom.fr>
<https://data.shom.fr>



ÉVOLUTION DU NIVEAU DE LA MER



SÉCURITÉ DE LA NAVIGATION



Artémis, Sables d'Olonne le 10/03/2008

VIGILANCE VAGUES-SUBMERSION

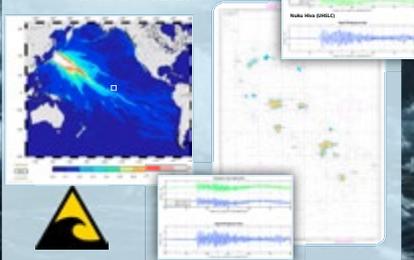


HYDROGRAPHIE

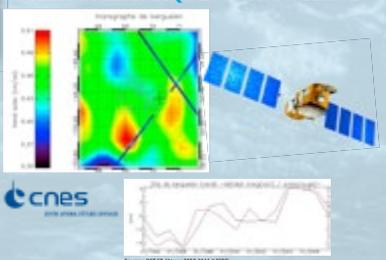


Réduction des sondages

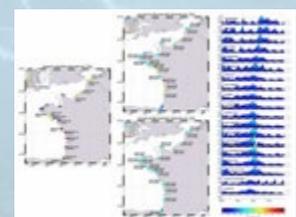
RÉSEAUX D'ALERTE AUX TSUNAMIS



VALIDATION DES ALTIMÈTRES RADAR EMBARQUÉS SUR SATELLITE



NIVEAUX EXTRÊMES



Fiche synthèse niveaux extrêmes (extrait du rapport NIVEXT, C. Dubord, SHOM, 2015. Financement MEDDE/DGPR)



www.shom.fr

@shom_fr @Shom.fr shom_fr



République Tunisienne



Au service
des peuples
et des nations

« Quelle résilience du littoral Tunisien face au changement climatique ? »

Adel Abdouli¹ · Fadhel Baccar² · Radhia Souissi³

Les zones littorales méditerranéennes sont particulièrement affectées par les risques liés aux changements climatiques et elles sont considérées comme extrêmement vulnérables, notamment à l'élévation du niveau de la mer. Plusieurs efforts ont été déployés pour élaborer des méthodologies et des outils permettant d'évaluer cette vulnérabilité.

1- En Tunisie :

l'APAL en partenariat étroit avec le PNUD-TUNISIE, a mené une évaluation de la vulnérabilité du littoral tunisien à l'élévation du niveau de la mer **(ENM) principalement à travers la mesure du risque de submersion et du risque de l'érosion.**

En effet, sur la base des données physiques et socio-économiques disponibles, **une matrice de vulnérabilité comprenant cinq indices et neuf variables a été établie.**

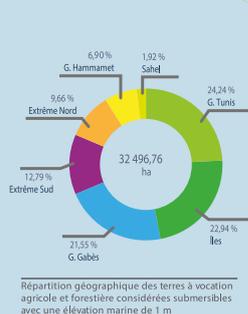
- **Indices de vulnérabilité :** Indice 1: très faible; indice 2: faible; indice 3: moyenne; indice 4: élevée et indice 5: très élevée.
- **Variables :** a. topographie de l'arrière-pays immédiat; b. géomorphologie du rivage; c. lithologie; d. hauteurs des dunes de haut de plage; e. type d'avant-côte; f. granulométrie; g. hauteur annuelle de la houle; h. marées; i. occupation de la côte.

L'Indice de Vulnérabilité Côtière (IVC) est calculé comme étant la racine carrée du produit des neuf variables :

$$\sqrt{(a*b*c*d*e*f*g*h*i)/9}$$

2- Programme de suivi face à l'élévation du niveau de la mer

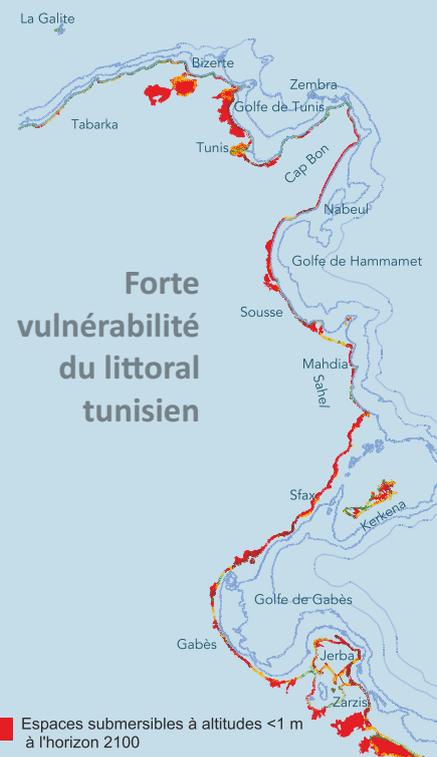
- Élaboration de la Carte de vulnérabilité du littoral Tunisien face à l'élévation du niveau marin.
- Évaluation des risques climatiques avec un focus au niveau de Ghar El Melh – Kalâat Landalous et de l'île de Djerba.
- Installation le long du littoral Tunisien d'un réseau de mesures météo-océanographiques et physico-chimiques (05 Bouées fixes, 07 marégraphes et 04 bouées mobiles).
- Mise en place d'une Base de Données Nationale météo-océanographiques.
- Levés topographiques et bathymétriques par la technique LIDAR aéroportée à haute résolution pour la simulation de l'impact de l'ENM notamment sur la zone côtière de Ghar El Melh–Kalâat Landalous.
- Étude de la vulnérabilité des ressources en eau face à l'ENM.
- Développement d'un plan d'analyse et de traitement des données acquises par le réseau de surveillance côtière et d'indicateurs maritimes et suivi des paramètres et des indicateurs relatifs à l'océanographie physique.
- Mise en place d'un Système d'Alerte Précoce (SAP) contre les phénomènes extrêmes.



Pertes estimées en ressources en eau des nappes phréatiques littorales, en cas d'élévation du niveau marin (en Mm³)



Les milieux urbanisés à risque de submersion avec une élévation du niveau marin de 1 m (pour l'ensemble du littoral)



Espaces submersibles à altitudes < 1 m à l'horizon 2100

¹ Agence de Protection et d'Aménagement du littoral - ² Programme des Nations unies pour le développement - ³ Institut National de Recherche et d'Analyse Physico-chimique



Dynamique du niveau marin en Manche Orientale



Lisa BAULON ¹, Imen TURKI ¹, Benoit LAIGNEL ¹, Stéphane COSTA ², Marie JABBAR ², Kevin GRAFF ²

¹ Normandie Univ, CNRS, UMR 6143 M2C, Université de Rouen, FR CNRS 3730 SCALE, UFR Sciences et Techniques, 76 821 Mont Saint Aignan Cedex, France.

² Normandie Univ, CNRS, UMR 6554 LETG-GEOPHEN, Université de Caen, UFR Sciences économiques, de gestion, de géographie et d'aménagement des territoires, 14 032 Caen Cedex, France.

Sites d'étude



Figure 1 : Sites d'étude
(Source : Géoportail)

- 3 stations étudiées (1964-2012) : Cherbourg, Le Havre, Dieppe
- Hauteur d'eau (SHOM)
 - Lacunes comblées par le modèle hybride de Turki et al. (2015)
 - Surcotes
 - Extraction par analyse harmonique de marée
 - Pressions à la surface de la mer (IH Cantabria)
 - Données de rétro-analyses

Evolution du niveau marin

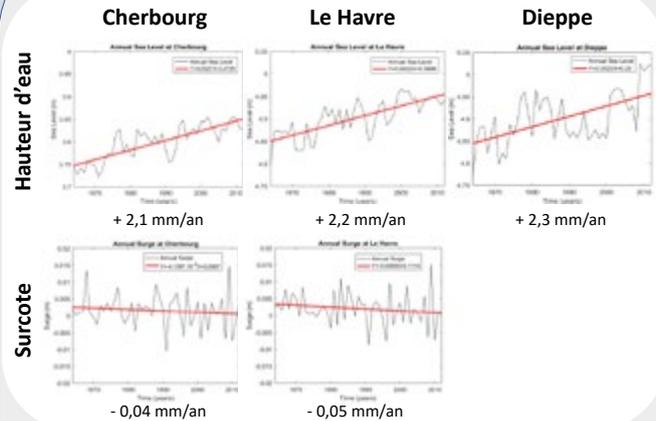


Figure 2 : Evolution des hauteurs d'eau et des surcotes à Cherbourg, Le Havre et Dieppe.

- Augmentation statistiquement significative des hauteurs d'eau moyennes annuelles à Cherbourg, Le Havre et Dieppe entre 1964 et 2012.
- Diminution des surcotes moyennes annuelles à Cherbourg et Le Havre entre 1964 et 2012.

Variabilité multi-temporelle des hauteurs d'eau et surcotes

Variabilité infra-annuelle

Variabilité annuelle/saisonnière

Variabilités pluri-annuelles

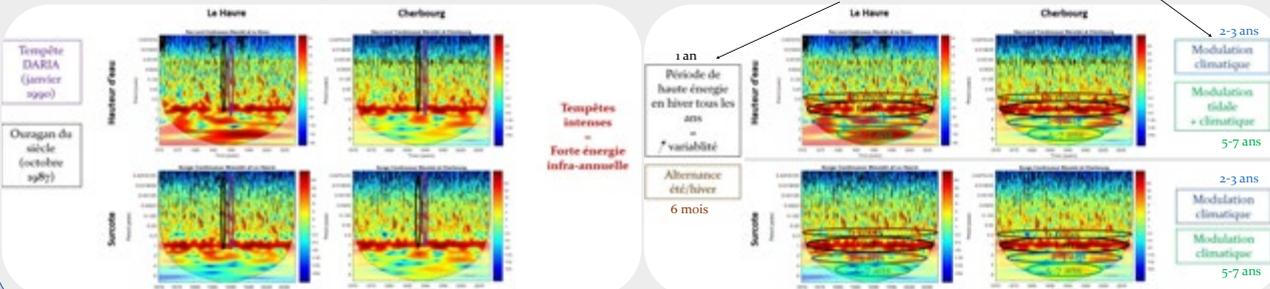


Figure 3 : Transformées en ondelettes continues des hauteurs d'eau et surcotes au Havre et à Cherbourg.

Origine climatique de la variabilité basse fréquence

Exemple de Cherbourg

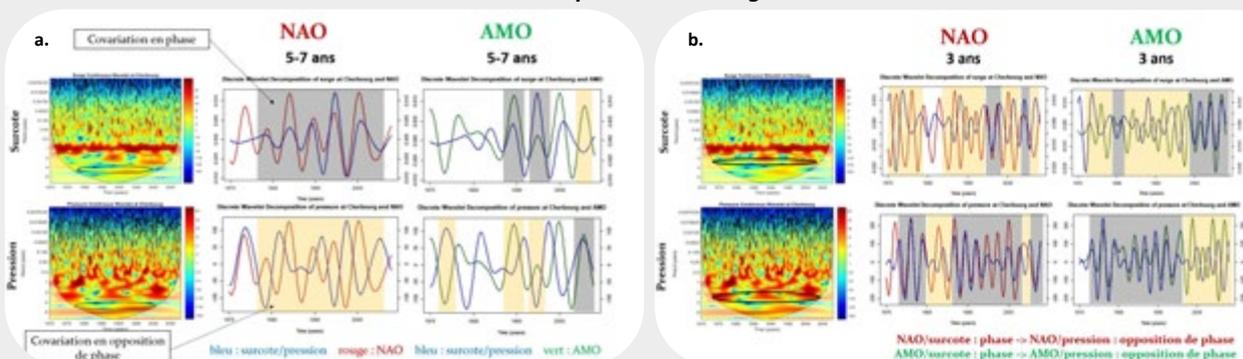


Figure 4 : Transformées en ondelettes continues des surcotes et pressions à la surface de la mer ; et transformées en ondelettes discrètes des surcotes, pressions, de la NAO et de l'AMO pour les modes de variabilité (a) 5-7 ans et (b) 3 ans.

- Covariations identifiables pour les modes de variabilité basses-fréquences 5-7 ans et 3 ans entre les indices climatiques (NAO et AMO) et les pressions à la surface de la mer ou surcotes, ce qui met en évidence l'origine climatique de la variabilité basse-fréquence des surcotes.

Référence :

Turki I., Laignel B., Kakeh N., Chevalier L., Costa S. (2015). A new hybrid model for filling gaps and forecast in sea level : application to the eastern English Channel and the North Atlantic Sea (Western France). Ocean Dynamics, 65, 509-521.

Dynamics of January 2018 Eleanor Storm at English Channel

Derya I. Dilmen¹, Imen Turki¹, Benoit Laignel¹, Stéphane Costa², Chai Heng Lim¹ and Edward Salameh¹

¹UMR CNRS 6143 M2C, Département Géosciences et Environnement, Université de Rouen, Mont-Saint-Aignan, France

²UFR SEGGAT, Département de Géographie Université de Caen Normandie, Université de Caen, Caen, France

Objective

Evaluate the performance of the numerical model Delft3D FLOW on estimating water level changes due to storms and tides;

Investigate the spatial variability of the storm dynamics on the French coast of English Channel. Study results will be used to predict the impact of increase in sea level rise on inundation limits of probable storms on the French coastline.

Background

Global warming increased the intensity of the storms and the water levels in the English channel in the last century. Very little is known about the effects of these changes on the French coast. However, these effects can be predicted by mathematical models. As the first stage of our research, we modeled storms and tides in the channel with Delft3D. We validated our results with the tide gauge observations. Then, we investigated the spatial variability of storm dynamics on the coast. In the second stage, the model will be used to create inundation maps for probable storm and sea level increase scenarios.

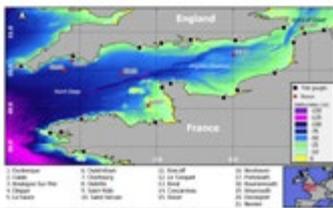


Figure 1. English Channel. In the main panel, the location of tide gauges (black dots) and buoys (red dots) used for model validations are numbered. The colorbar shows the depth in meters. The location of the English Channel is marked with a red rectangle in the inset at lower right map.

Study Area

English Channel (Fig. 1) is a sleeve-like shallow sea between Northern France and South England, connecting Atlantic Ocean to North Sea. A megaflood due to melting of retreating glaciers in the southern North Sea geographically separated Britain from Europe and formed English Channel at the last Quaternary Period (Collier et al. 2015).

The funnel shape and shallow depth of the English Channel makes for strong semi-diurnal and quarter diurnal tides (Hsu et al., 2008). Tides are semi-diurnal, with amplitude ranging from less than 1 m at the Isle of Wight to more than 12m spring tide largest in Saint-Michael's Mount Bay. Associated maximal mean spring tidal currents ranging from a few cm/s to about 5 m/s north-west of Cotentin headland (SHOM, 2000). The storms of this area is mostly occurred by low pressure systems from the Atlantic Ocean, propagating eastwards or by surges propagating south from the North Sea (Law, 1975).

Storm Eleanor



Figure 2. Eleanor Storm Track (Meteorological Agency of France, 2018)

- generated on 1st of January 2018, over Atlantic and ended on 4th of January 2018 (Fig. 2)
- the sixth most severe storm since 1995
- the main regions affected are Haute Normandie, Nord Pas de Calais, Alsace and Corsica with wind speeds > 100 km/h.
- duration was 44 hours with a maximum speed of 180 km per hour at Cap Corse and with an intensity of "strong" (Meteorological Agency of France, 2018).

Modeling the storm with Delft3D

We simulate the flow conditions using the Delft3D FLOW hydrodynamic module of Delft3D open source model for simulation of ocean conditions (Deltara Systems, 2017). Delft3D is a validated and tested flow and wave model at coastal, river and estuarine area (Hsu et al., 2006, 2008). The computational domain for FLOW regional bathymetry datasets were compiled and used to create the model grid. We defined an orthogonalized and refined curvilinear bathymetric grid (grid resolution ~100 m). The vertical datum is taken as mean sea level. The spatial reference is WGS 84. The hydrodynamic time step was set to 1 min. The circulation model was forced by the astronomic tidal potential over the whole domain for the tidal constituents. The far-field tidal predictions to the model were calculated from TPXO Model (Egbert and Erofeeva 2002). Along its open boundaries, the FLOW model was forced by the 35 main tidal constituents in the region.

Model Results

Tide Gauge Comparisons

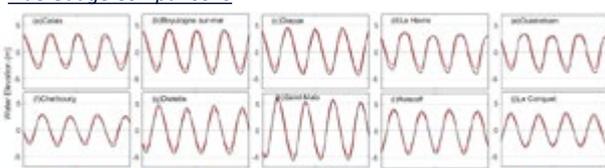


Figure 3. Comparison of observed (red) and simulated (black) water levels at 10 tide gauges at French coasts of English Channel (see Fig. 1) during the storm starting at t=0 (00:00:00 UTC, on Jan 2nd, 2018).

- The maximum storm tide is 5.98m in Saint Malo.
- Delft3D estimated storm tide patterns, amplitudes and phases well.

Model Results

Model Performance

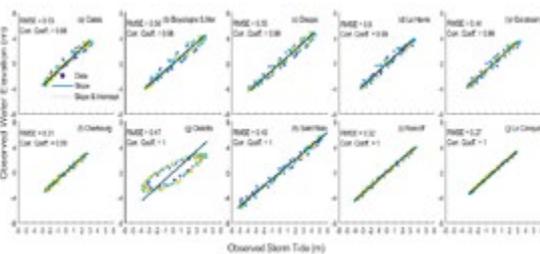
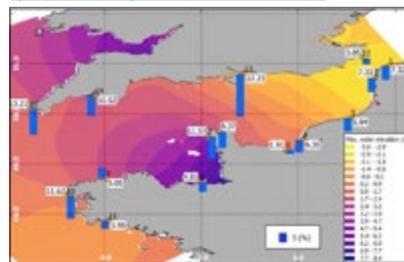


Figure 4. Scatterplot of Simulated vs observational water surface elevations (m), given with RMSE and correlation coefficients at 10 tide gauge stations.

- Min. RMSE value is 0.32 (Boulogne sur-mer) with a correlation coefficient of 1.
- Max RMSE value is 0.56 (Roscoff) with a correlation coefficient of 0.98
- The comparison shows a distinctive difference in Dielette Station.

Spatial Variability in Storm Tide Estimations

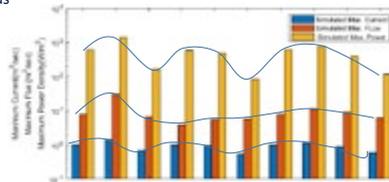


Peak errors (PE) estimated as:

$$PE = \frac{Y_{m,peak} - Y_{o,peak}}{Y_{o,peak}} \times 100\%$$

Figure 5. Peak error comparisons for the tide gauge stations overlaid with water levels at 7:30 UTC (at max. storm speed)

- The highest % difference between model and observations is at Le Conquet (11.63%), smallest at Ouistreham (1.91%)



Flux and Power density estimated as:

$$F = h_0 \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$P_d = \frac{1}{2} \rho \sqrt{u^2 + v^2}^3$$

u, v = current speed in horizontal and vertical directions
 h_0 = water depth

Figure 6. A summary of the comparison between model run-up skill

- The highest simulated maximum current, fluxes and power density occurred in Boulogne sur-mer.

Summary

- The numerical model simulates storm tide with a high correlation with the observations, there is also a tendency to underestimate run-up in some regions.
- Overall in 13 stations, storm tides are under-estimated with less than 10%
- The maximum currents, fluxes, and power densities do not always occur where we see highest amplitudes of storm tides. These parameters should be considered while estimating probable damages due to storms.

Acknowledgments

This study is carried out and supported in the framework of the RIN RAVI COT project with collaboration of University of Rouen, Normandy and University of Caen, Normandy.

Wind data are provided by the NOAA-ESRL Physical Sciences Division, Boulder Colorado from their Web site at <https://www.esrl.noaa.gov/psd/>.

References

- SHOM, <https://data.shom.fr>
- Daly C, Roelvink D, van Dongeren A, van Thiel de Vries J & McCall R (2011). Short wave breaking effects on low frequency waves. Coastal Engineering Proceedings, 1(32), waves.20.
- Roelvink JA, Reniers AJ, van Dongeren AR, van Thiel de Vries JSM, McCall R & Lescinski J (2009). Modeling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. J. Coastal Engineering, doi:10.1016/j.coastaleng.2009.08.006.
- Svytski JP & Saito Y (2007). Morphodynamics of deltas under the influence of humans. Global Planet. Change, 57(3-4), 261-282, doi:10.1016/j.gloplacha.2006.12.001.
- Van Rooijen AA, McCall RT, Van Thiel de Vries JSM, Van Dongeren AR, Reniers AJHM & Roelvink JA (2016). Modeling the effect of wave-vegetation interaction on wave setup. J. Geophys. Res. Oceans, 121, 4341-4359, doi: 10.1002/2015JC011392.
- Van Rooijen AA, Van Thiel de Vries JSM, McCall RT, Van Dongeren AR, Roelvink JA & Reniers AJHM (2015). Modeling of wave attenuation by vegetation with XBeach. E-Proceedings 36th IAHR World Congr., The Hague, The Netherlands, p.7.



3^{ème} édition du colloque les journées REFMAR. Paris, La Défense du 27 au 29 mars 2019

**EVOLUTION DES MAREES A DAKAR:
IMPACTS SOCIOECONOMIQUES**



Le Port Autonome de Dakar (PAD)



Le Sénégal avec une façade maritime de près de 700 km



M. Anis DIALLO, Expert en évaluation environnementale, Océanographie biologique, Dakar, Sénégal.
Email: anisdiallo@univdakar.sn
Tél: +221 77 631 15 95

INTRODUCTION

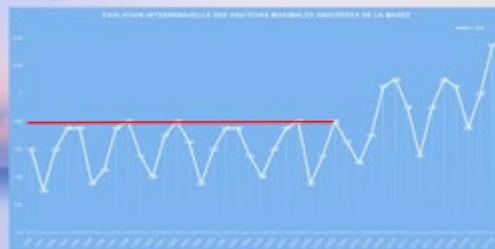
Le Sénégal possède une façade maritime de près de 700 km sur l'océan atlantique. A son extrémité ouest, se trouve le Port Autonome de Dakar (PAD) qui abrite des marégraphes depuis plusieurs années. Pour les besoins de ce travail, nous utilisons les données de marée de 1980 à 2018.

Au regard des changements climatiques sur 4 décades, on observe dans la région de Dakar qui est une presque île un recul du trait de côte d'une part et une variations très nettes des hauteurs de marées d'autre part. Des événements extrêmes sont devenus quasi fréquentes avec comme conséquences, des pertes économiques très importantes pour les communautés côtières et les acteurs de la pêche.

EVOLUTION DES MAREES

Les hauteurs maximales sont notées entre juillet et septembre en période de saison des pluies. A partir de 2005, on constate une légère augmentation de ces hauteurs qui ne descendent plus en dessous de 1,90m pour atteindre 2,07m en 2018. Depuis 2010, les valeurs sont autour de 2,00m sauf en 2012 (1,91m) et 2016 (1,95m), ce qui confirme la variation et l'instabilité du fait des changements climatiques.

Cette variabilité est plus marquée avec l'évolution des courbes décennales des plus hautes marées à partir de 2010. Ainsi sont apparus des phénomènes de catastrophes (Evénements exceptionnels) sur les côtes sénégalaises de manière générale et sur la région de Dakar en particulier.



METADONNEES

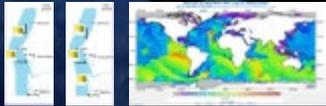
Marégraphe de Dakar: Il existe actuellement 2 marégraphes au PAD, installés par le projet ODINAFRICA et l'Agence Nationale de la météo (ANACIM);
Coordonnées: -17.27 W / 14.38 N
GLOSS Number: 223
Données: accessibles en temps réel (<http://uhsic.soest.hawaii.edu/data/>)

EVENEMENTS EXCEPTIONNELS

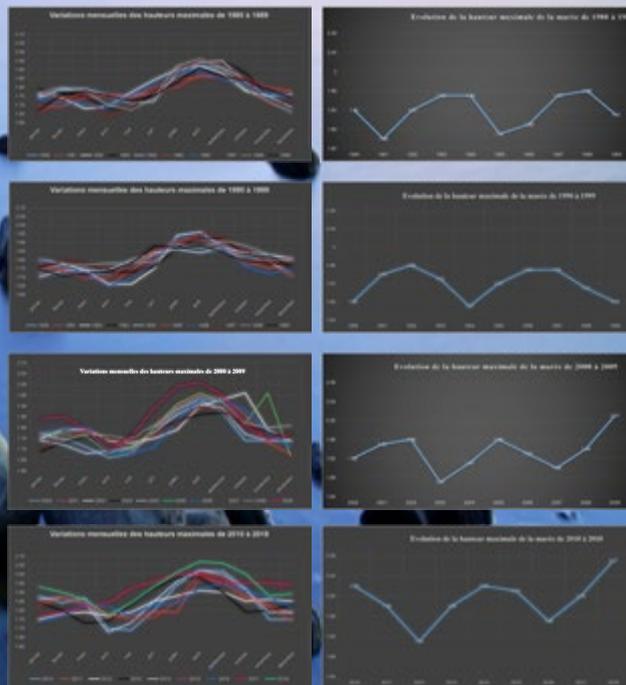
* Entre le 31 mai et 2 juin 2014, il s'est produit un phénomène exceptionnel découlant d'un train de houle du sud de plus de 2,5m de hauteur à 12° de période avec des vagues de 3,5m à 14" et des vents de secteur nord à 12 m/s. Les conséquences furent désastreuses, destruction du rivage, de maisons et de pirogues.
* Ce phénomène s'est encore produit en janvier 2015 et juin 2016 avec les effets néfastes.

Arrivée des vagues au 1er juin, 2014

Prévision Direction des Vagues Atlantiques au 1er juin, 2014



Conséquences de ce phénomène: Destruction de maisons, de littoral et de Pirogues entre Petit Millier et Bellique au sud de Dakar.



EVALUATION SOCIOECONOMIQUE

Avec les changements climatiques, ces phénomènes (catastrophes) sont devenus récurrents sur tout le littoral sénégalais. Le train de houle du sud de 2014, peut être considérée comme un repère historique de ces phénomènes sur la zone côtière. Au delà de la destruction de plus de 20 maisons et hangars de pêcheurs, il y a eu la perte de 100 pirogues artisanales, de 50 moteurs dans la zone au sud de Dakar. Ceci a occasionné l'arrêt des activités de la pêche artisanale dans ces localités pendant près de 2 mois avec un impact social très marqué car la pêche représente la principale source de revenus des populations dans la zone affectée.
Les pertes (matériels) de 2014 sont estimées plus de 400.000.000 de FCFA, soit plus de 800.000 euros. Les phénomènes de janvier 2015 et de juin 2016 sont de même ampleur, ce qui a favorisé la mise en place de projet de protection, d'aménagement du littoral, d'adaptation et de mitigation auprès de certaines communautés.



RECONSTRUCTION DES VARIATIONS DU NIVEAU DE LA MER ET DYNAMIQUE DE L'EVOLUTION DU LITTORAL ESTUARIN DU WOURI (CAMEROUN)

Yannick Fossi Fotsi^{1,2*}, Nicolas Pouvreau³, Isabelle Brenon¹, Raphaël Onguene², Jacques Etame², Dieudonné Jombe⁴

¹UMR 7266 LIENSS, Institut du Littoral et de l'Environnement, Université de Rochelle, 17000 La Rochelle (France)

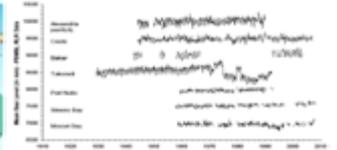
²Université de Douala, BP : 24157 Douala (Cameroun)

³Shom - Service hydrographique et océanographique de la marine, 29200 Brest (France)

⁴PAD - Port Autonome Douala, BP : 4020 Douala (Cameroun)

CONTEXTE GENERALE

Les régions littorales de l'Afrique situées de part et d'autre de l'équateur sont parmi les plus vulnérables du monde face au changement climatique. Aujourd'hui, elles représentent des environnements physiques présentant des forts risques d'inondation et d'érosion en partie à cause de l'élévation séculaire du niveau de la mer.

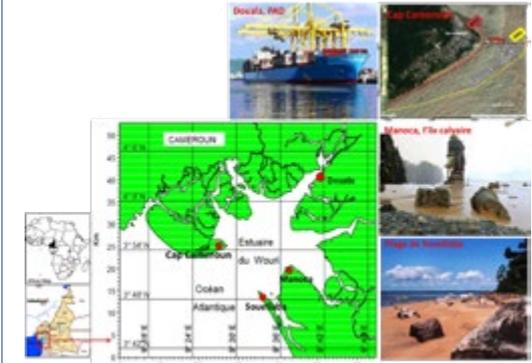


❖ Série du niveau moyen des mers pour les 7 stations en Afrique qui ont des données mensuelles disponible dans la base de données du PSMSL sur une période de plus de 40 ans (Wöppelmann et al., 2008)

Dans l'estuaire du Wouri (Cameroun), à Douala, Cap Cameroun, Manoua et Souellaba, le phénomène, est exacerbé par l'érosion côtière, avec l'avancée de la mer de 3 à 7m/an observée à Cap Cameroun (Fossi, 2018). En outre des activités comme la destruction de la mangrove, la navigation dans le chenal d'accès au Port de Douala, le dragage, l'exploitation de carrières de sable ou encore la construction d'infrastructures dans cette zone côtière perturbent la continuité des sédiments côtiers et participent à l'aggravation des risques.

ZONE D'ETUDE

L'estuaire du Wouri ou estuaire du Cameroun, situé au cœur du Golfe de Guinée et ouvert sur l'océan Atlantique, fait du Cameroun une zone d'intérêt stratégique.



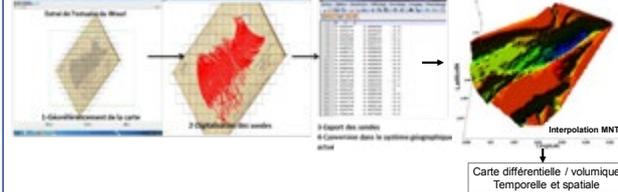
DYNAMIQUE ET EVOLUTION DU LITTORAL ESTUARIN DU WOURI

1- Inventaire d'archives bathymétriques

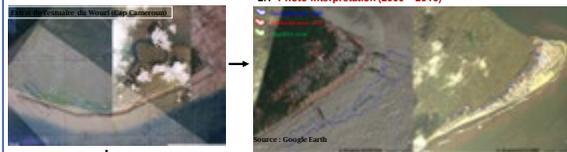


2- Méthodes de traitement et Analyse

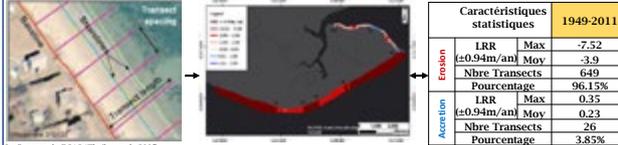
1- Scan Bathy - Sufer - ArcGis



2.1- Photo-interprétation (2000 - 2016)

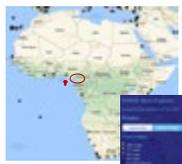


2.2- Modèle DSAS Digital Shoreline Analysis System (LRR) / Taux d'évolution : d'érosion (≤ 0) et d'accrétion (≥ 0)



PERSPECTIVES

- Acquisition d'une base de données pour informations sur les changements du niveau de la mer long terme
- Acquisition long terme de l'évolution côtière de l'estuaire du Wouri
- Acquisition de données hydrosédimentaires dans l'estuaire
- Modélisation du comportement des masses d'eau et des sédiments fins



BIBLIOGRAPHIE

Yannick FOSSI FOTSI, Nicolas POUVREAU, Isabelle BRENON, Raphaël ONGUENE, Jacques ETAME. Evolution du trait de côte de la façade sud de l'île de Cap Cameroun dans l'estuaire du Wouri (Cameroun). Atelier Climat et Impacts du 29 et 30 Novembre 2018 à l'Université de Paris - Sud (Orsay) GIEC, 2007b. Climate Adaptation and mitigation options. In : Climate Change 2007: Synthesis.
PSMSL (Permanent Service for Mean Sea Level). Base de données disponible en ligne : <http://www.psmsl.org/>
Thieler E.R., Himmelstoss E.A., Zichichi J.L., Miller T.L. (2005) - Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 3.0: An ArcGIS extension for calculating shoreline change. US Geological Survey Open-File Report 2005-1304.
WÖPPELMANN G, MARTIN MIGUEZ B, CREAACH R. (2008). Tide gauge records at Dakar, Senegal (Africa): Towards a 100 years consistent sea-level time series. European Geophysical Union (EGU), Vienne Autriche, 13-18 avril 2008

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Service d'Action Culturel de l'Ambassade de France au Cameroun (SCAC), le laboratoire LIENSS (CNRS / La Rochelle Université) et le Shom (Brest) Conformément à la convention d'accueil Shom - Université de Douala - article 3 pour le soutien de ce travail de recherche.





La base de données « Tempêtes et Submersions historiques » : un support pour une expertise collégiale et interdisciplinaire des informations historiques de tempêtes et de submersions

Au cours de la dernière décennie, la tempête Xynthia et d'autres ont marqué l'actualité de par leur intensité et les dégâts causés lors de leur passage sur le territoire français. Ces événements peuvent donner l'impression qu'ils n'ont été "jamais vus par le passé", mais le recensement des tempêtes plus anciennes (1953, 1987, 1999...) montre que de tels phénomènes surviennent en fait régulièrement sur le littoral métropolitain. Dès lors, la collecte et l'analyse d'informations historiques apparaissent incontournables pour améliorer la prévention des risques littoraux, en particulier celle de la submersion marine. Afin de mutualiser les informations disponibles en France, une base de données relationnelle et spatiale a été développée au sein de l'IRSN. En parallèle à l'élaboration de cette base de données, un groupe de travail interdisciplinaire s'est constitué. Un axe majeur de travail est l'intégration de nouvelles données historiques issues de diverses archives dans la base de données, ainsi que leur analyse et la quantification des niveaux marins associés.

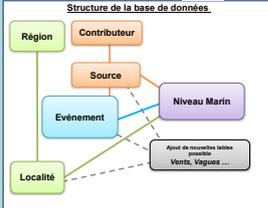
La base de données Tempêtes et Submersions historiques

Pour répondre aux besoins d'expertise en sûreté nucléaire, l'IRSN a créé en 2015 une base de données reprenant les études et documents disponibles et intégrant tout type de documents relatifs à des tempêtes ou des submersions historiques sur le littoral Manche et Atlantique. Les données disponibles dans la base sont entièrement publiques, la BD Tempêtes et Submersions historiques est soumise à la licence open source.

SUBMERSION : événement pour lequel une mention d'inondation / franchissement existe dans la source

TEMPETE : événement pour lequel aucune source disponible ne fait mention d'inondation, mais qui est susceptible d'avoir causé une submersion

Base de données PostgresSQL

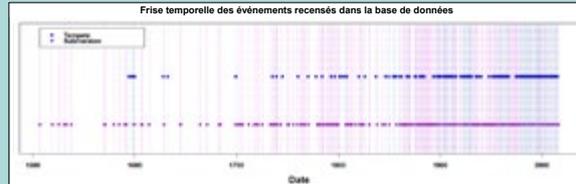


avec extension spatiale via PostGIS



Événement	information relative à la date d'un événement (tempête et/ou submersion)
Source	information relative à l'auteur et au document faisant mention d'un événement, la qualification d'une source et la classification d'un événement
Contributeur	lié à la table source, contient les informations relatives aux contributeurs ayant porté à connaissance le document source
Niveau Marin	Extraction des informations stockées dans la table source afin de séparer information qualitative et information quantitative
Région	table spatiale, avec information géographique de type polygone, contenant les régions et pays touchés par un événement
Localité	table spatiale, avec information géographique de type point, contenant les localités (marégraphes, villes ou lieux-dits) touchés par un événement

La structure de la base de données n'est pas figée, il est possible d'ajouter de nouvelles tables.

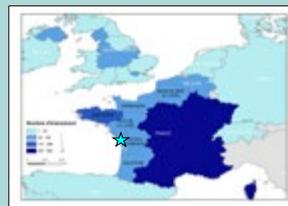
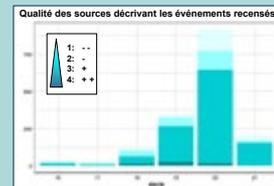


↑ En février 2019 la base de données compte 784 événements sur une période qui s'étend à ce jour du 16^e au 21^e siècle, dont 540 submersions et 244 tempêtes.

→ Qualité des 1600 sources qui décrivent les événements selon la classification proposée par Hamdi et al., 2018:

⇨ 2/3 des sources sont de bonne qualité

1. La source est peu fiable (il est impossible de connaître l'origine exacte de l'information). Il s'agit notamment de certaines informations collectées sur Internet.
2. L'information est présentée dans des ouvrages techniques, sans clairement mentionner la source.
3. Des livres, rapports, journaux ou témoignages présentent des événements historiques en spécifiant clairement la source primaire.
4. L'information est présentée dans une source primaire, p.ex. un rapport original contemporain de l'événement.



← Répartition spatiale des événements par région et pays.

Précision: si un événement a touché une région française particulière, il a donc touché la région France.

Exemple: La Rochelle

Requête:
Sélection des événements de submersion ayant touché La Rochelle



Analyse des sources
pour différencier si la surcote est quantifiable ou non et comparaison avec les données systématiques

Exemples de données non quantifiables.

10 Aout 1518:
"La mer se desborda aux costes de cette ville qui causa une perte incroyable gastant toutes les vignes et champ."
Barbot, A. 1886. Archives Historiques de l'Aunis et de Saintonge Volume 14. Paris.

29 Juillet 1628
"La digue fut ébranlée par une violente tempête. Les chandeliers ou pieux rangés en quinconce pour embarrasser le passage du goulet, furent brisés ou renversés. Le mur de ce grand ouvrage qui s'élevait au-dessus du niveau des eaux, fut abattu. L'ouverture en était si large qu'un navire du port de 200 tonneaux passa au travers poussé par les flots."
Arcère 1757. Histoire de la ville de La Rochelle et du pays d'Aunis. Tome Second. La Rochelle.

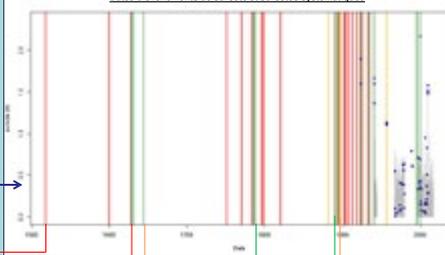
Exemples de données potentiellement quantifiables.

29 Janvier 1645
"Un de ces navires qui pouvait être de 3 à 400 tonneaux, fut lancé jusques sur un moulin, du côté de la Pointe des Minimes, environ à trente pas dans les terres. La mer avait franchi ses bords à plus d'une lieue loin."
Dupont, E. 1830 Histoire de La Rochelle. La Rochelle.

11 Février 1895
"Aussi la mer a-t-elle passé par-dessus les quais, entraînant tout ce qui y était déposé, trains de pêches, fûts, madrier. L'eau a pénétré dans les bureaux du port à une hauteur de 20 centimètres. On signale de grands dégâts produits par l'ouragan et l'envahissement de la mer."
Courrier de La Rochelle, 14 février 1890

- Surcote non quantifiable en l'état
- Surcote potentiellement quantifiable
- Surcote quantifiable
- Surcote quantifiée
- Donnée systématique (surcote)

Dates d'événements de surcote et surcotes systématiques



Exemples de données quantifiables.

22 Février 1788
"Peu de personnes se souviennent avoir vu la mer à cette élévation. Le nouveau chantier à la porte des Dames a été couvert en grande partie [...] toutes les caves de la rue de la Boursieront remplies d'eau, plusieurs morceaux de terres et de vignes du côté de Taddon ont été submergés, pendant la pleine mer [c'était un tems de maline supprimé] on n'a pu passer par la porte St. Nicolas."
Lambertz, J., Journal du Négociant, ADCM 41 1808

22 Janvier 1890
"Poussé par un fort vent d'ouest, la mer a dépassé de plus de 20 centimètres le couronnement des quais de nos bassins à flot... A Port-Neuf, les huîtres ont été emportées. La mer a brisé les digues, envahit les parcs et couvert la prairie [...]. La hauteur de l'eau dans l'avant port de La Pallice était le 22 janvier de 7 m 30."
Courrier de La Rochelle, 23 et 26 janvier 1890

Le Groupe de Travail

Lors des journées REFMAR 2016, l'intérêt d'un groupe de travail pluridisciplinaire sur le sujet des submersions et tempêtes historiques a été souligné. Depuis, ingénieurs, chercheurs, statisticiens et historiens appartenant à différents organismes (IRSN, EDF, Shom, BRGM, ARTELIA, UPLC17, CEREMA) se réunissent au sein du groupe de travail « Tempêtes et Submersions historiques » (GT) dans le but de mutualiser les informations de tempêtes et submersions historiques au sein notamment d'une base de données commune. La base de données développée par l'IRSN a été retenue par les membres du GT comme un outil de mutualisation des apports de chacun. L'IRSN assure dans un premier temps la gestion et la maintenance de la base ainsi que l'organisation du GT.

Objectifs et Perspectives

Base de données :

- Continuer l'alimentation de la base de données
 - Possibilité d'élargir la zone d'étude et la fenêtre temporelle
 - Possibilité d'ajouter
 - de nouveaux champs dans les tables
 - de nouvelles tables dédiées à d'autres variables

Faciliter le renseignement ainsi que l'exploitation de la base de données

Développer l'intégration de sources visuelles (photographies, images d'archives, plans historiques, anciennes cartes postales...)

Groupe de Travail :

- Mettre en commun les informations historiques issues des travaux menés par les différents partenaires
- Mettre en place une démarche d'analyse des données historiques, de quantification et de validation de niveaux marins et de surcotes ainsi que l'estimation d'incertitudes associées
- Appliquer cette démarche sur des sites d'intérêt et disposer d'une analyse critique collective sur ces applications : « Fiches tempêtes »
- Intégrer à terme ces nouvelles connaissances dans la base de données publique Tempêtes et Submersions historiques.



HOMONIM

Historique Observation MODélisation des Niveaux Marins

Un patrimoine de données « socle »

- Etendre le réseau d'observations marégraphiques
- Réaliser les bathymétries spécifiques

A reference database

- To extend tide gauges network
- To produce fit-for-purpose digital elevation models



Marégraphe côtier dans le port d'Audierne
Tide gauge in Audierne harbor



Objectifs - Objectives

Mieux anticiper les submersions marines
To better anticipate flooding from the sea

Attendus - Expected benefits

Faire progresser les dispositifs opérationnels de vigilance et d'alerte
To improve watch and warning systems

Organisation - Management

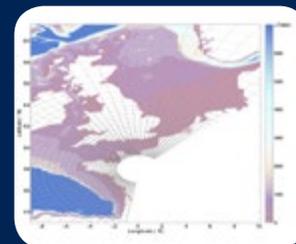
Une action du Plan Submersions Rapides
Maîtrise d'ouvrage DGPR et DGSCGC
Part of the government flooding action plan

Des nouvelles capacités de prévisions opérationnelles

- Développer des modèles de prévision des surcotes et des vagues sur les côtes métropolitaines et outre-mer françaises

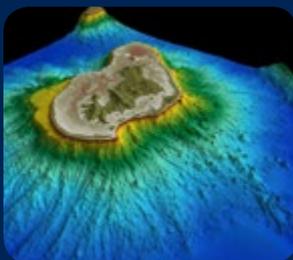
Enhanced operational forecast capabilities

- To develop surges and waves forecast models along french domestic and overseas coasts



Grille de calcul du modèle de surcote sur l'Atlantique nord-est
Storm surge model grid mesh over the north-east atlantic domain

Surcotes prévues et observées à Ajaccio entre le 26 Oct. 2018 et le 02 Nov. 2018
Observed and Forecasted storm surges in Ajaccio between Oct. 28 and Nov. 2 2018



MNT bathymétrique de façade de l'île de Mayotte
Regional DEM of Mayotte island



Carte de vigilance avec niveau orange du risque de vagues-submersion sur la côte aquitaine
Watch-warning graphic with orange level for storm surge risk along the aquitaine coast



Carte de surcotes prévues pour le 29 Oct. 2018 à 18h00 TU
Map of forecasted storm surges on Oct. 29 2018 at 18h00 UTC

Une information disponible et actualisée

- Alimenter le dispositif Vigilance Vagues-Submersion
- Alimenter les portails d'information grand public

Available and up-to-date information

- To supply Météo France surges and waves warning system
- To give open access to forecasts for general public



Carte de hauteur de vagues prévues pour le 29 Oct. 2018 à 18h00 TU
Map of forecasted significant wave height on Oct. 29 18h00 UTC

<http://data.shom.fr>
<http://donneespubliques.meteofrance.fr>



🐦 @shom_fr 🐦 @shom_en 📘 @Shom.fr 🌐 shom_fr



Déterminer le Trait de Côte grâce à la connaissance de la marée

Projet de trait de côte national des Plus Hautes Mers Astronomiques

TC PHMA

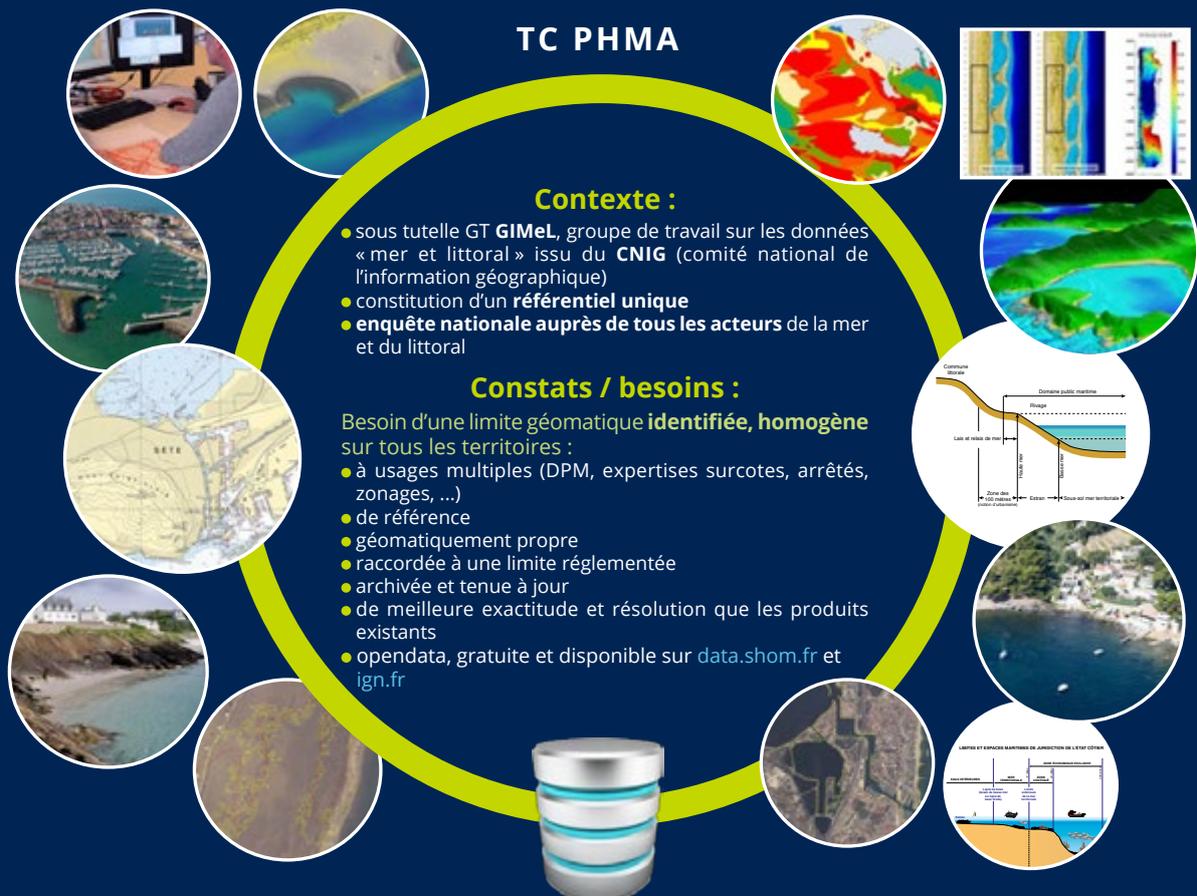
Contexte :

- sous tutelle GT **GIMeL**, groupe de travail sur les données « mer et littoral » issu du **CNIG** (comité national de l'information géographique)
- constitution d'un **référentiel unique**
- **enquête nationale auprès de tous les acteurs** de la mer et du littoral

Constats / besoins :

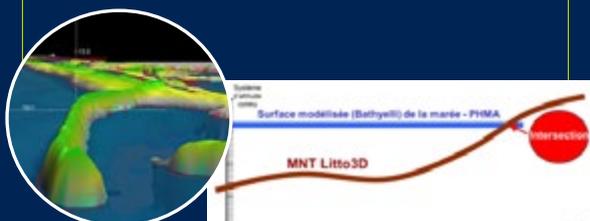
Besoin d'une limite géomatique **identifiée, homogène** sur tous les territoires :

- à usages multiples (DPM, expertises surcotes, arrêtés, zonages, ...)
- de référence
- géomatiquement propre
- raccordée à une limite réglementée
- archivée et tenue à jour
- de meilleure exactitude et résolution que les produits existants
- opendata, gratuite et disponible sur data.shom.fr et ign.fr



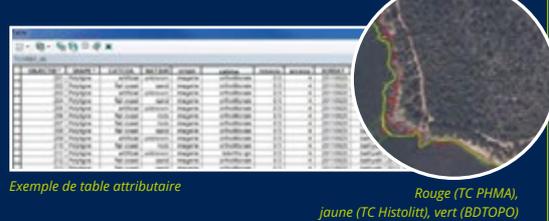
Méthode / Produit, vecteur (ligne) à partir de **deux données sources, fiables et qualifiées** :

- **surface de marée** (PHMA, Bathyelli modélisé et étendu à la côte)
- **MNT haute résolution** (1 m) du haut de l'estran (Litto3D®, RGEAltj®)



Conformité INSPIRE et OHI (S57) pour une description géomatique et attributaire riche :

- tronçonnage, artificiel, naturel
- nature du sol identifiée via l'Ortholittorale ou la BDORTHO®
- valeur de PHMA, dates, exactitudes, ...



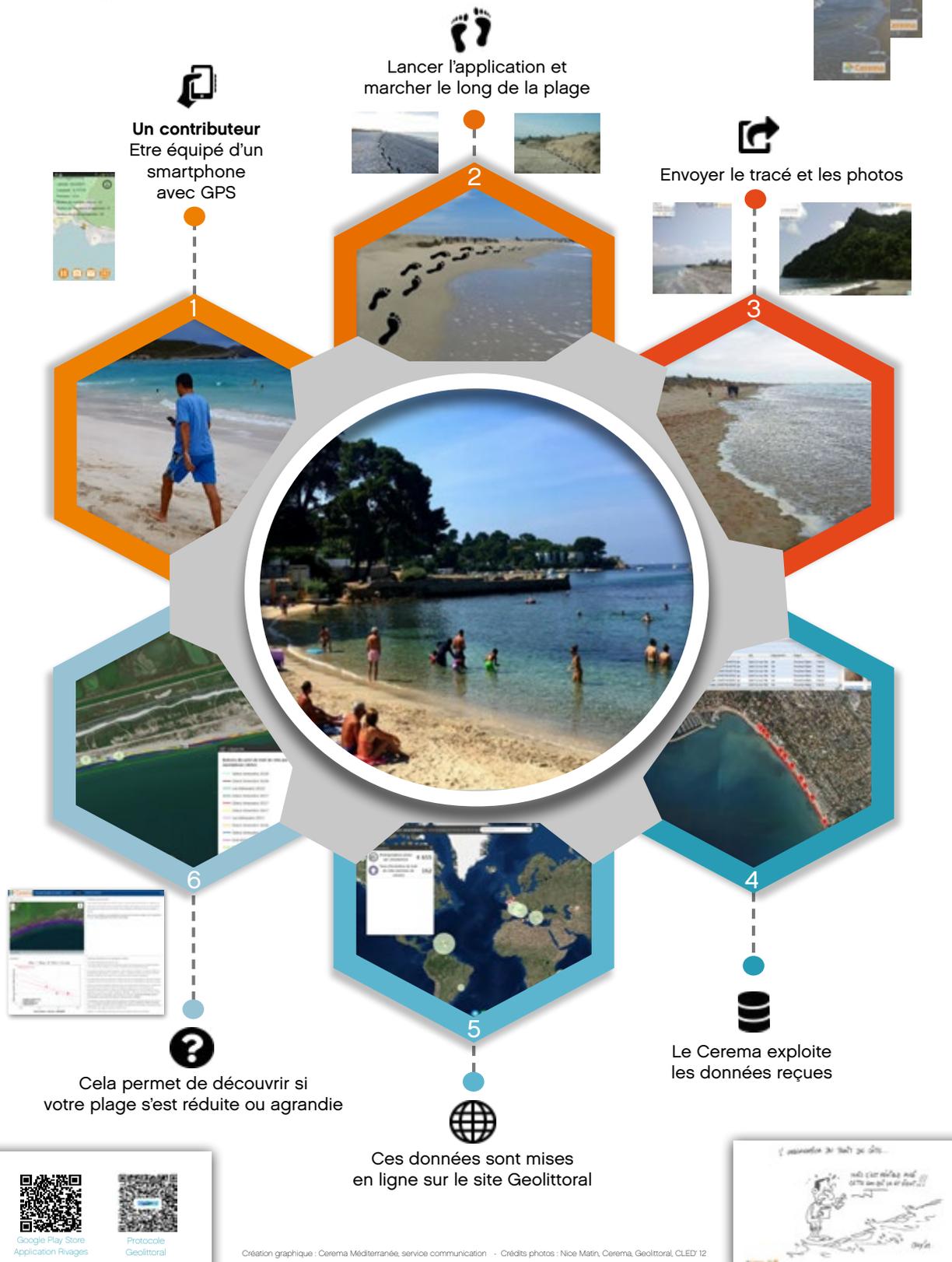
Deux départements test (Aude et Var) ont été réalisés en 2016 : <https://diffusion.shom.fr/pro/amenagement/bd-maritime-et-littorale/trait-de-cote-haute-resolutionhtml>





RIVAGES

Une application gratuite pour participer à la surveillance du littoral



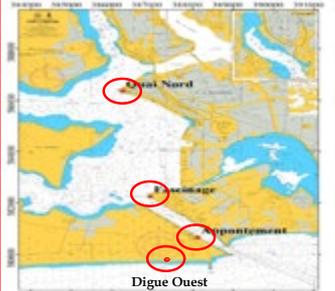
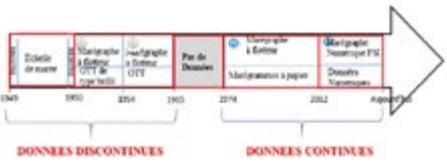
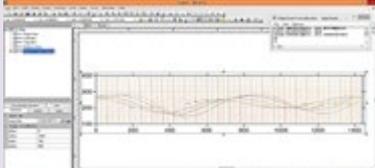
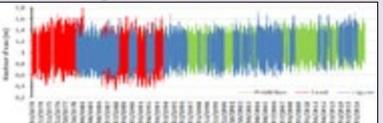
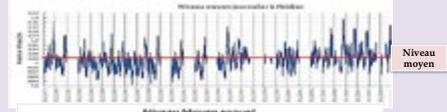
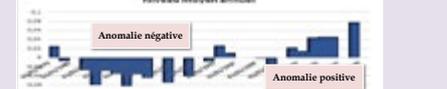
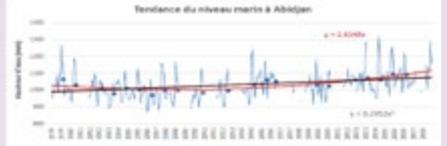
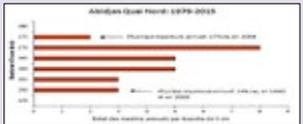
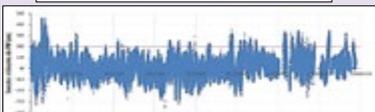
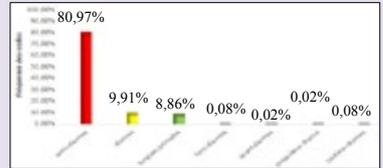
LES JOURNEES REFMAR 2019



Mesures marégraphiques semi-séculaires au port d'Abidjan (Côte d'Ivoire): Caractéristique et tendance évolutive du niveau marin sur le littoral d'Abidjan

R. Samassy*, M. Monde*, S. Sangaré*, S.A. Angora*, D. Marius*
samassyroky@live.fr



Introduction	Objectifs	Stations de mesure au PAA
<p>L'estimation fiable de l'évolution du niveau de la mer reste un défi majeur sur les côtes africaines. En Côte d'Ivoire 65 années de mesures marégraphiques sont au format papier, pourtant seulement 7 années sont numérisées et archivées sur le site du PSMSL.</p> 	<p>L'objectif principal de ce travail est d'estimer la tendance évolutive du niveau marin à Abidjan et d'évaluer de son impact sur le littoral à travers l'inventaire, la numérisation et la validation de la série marégraphique longue du PAA (1951-2016).</p>	<p>Quatre stations marégraphiques sont installées dans la rade portuaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> -La station marégraphique Digue Ouest -La station marégraphique de l'apponement -La station du Fascinage -La station du Quai Nord. 
<p>Données exploitées</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 années de marégrammes de la digue ouest a permis de caractériser la marée en mer. • données de 1974 à 1988 soit 15 années ont été exploitées dans le Canal de Vridi, • 38 années (1979 à 2016) mesures en lagune ont été exploitées. <p>Une série exploitable de 42 années de mesures marégraphiques ont été mis en évidence.</p> 	<p>Méthodologie</p> <p>Les données inventoriées dans les archives du PAA et du SHOM ont été numérisées par les logiciels « Surfer 11 » et « Nunieau ». Ces données ont par la suite été traitées par les logiciels T-tide et U-tide.</p> 	<p>Résultats</p> <p>La série marégraphique d'Abidjan a été reconstituée à partir de 85,77% de données de bonnes qualités.</p> 
<p>Tendance évolutive du Niveau marin à Abidjan</p> <p>Le niveau moyen journalier en lagune entre 1979-2009 est de 1,04 m. Depuis 1995 le niveau marin est à la hausse à Abidjan.</p>   <p>Une tendance générale de 2,61 mm/an a été observée à partir des 31 années de données marégraphiques du Port d'Abidjan (1979 – 2009).</p> 	<p>Niveaux extrêmes</p> <p>Les plus hauts niveaux d'eau ont été observés en 2004 avec une hauteur de 175 cm. Les plus bas niveaux en 1990 et 2000 avec une hauteur de 149 cm avec une moyenne de 165 cm au cours des 31 dernières années.</p>   <p>Les surcotes de PM, à Abidjan sont généralement supérieur à 20 cm et peuvent atteindre jusqu'à 50 cm. Elles peuvent être à l'origine d'événement d'érosion extrême de plus de 12 m le long.</p> 	<p>Caractérisation du signal de marée à Abidjan</p> <p>La marée à Abidjan a été caractérisée à partir de 70 composantes harmoniques déterminées par le logiciel U-tide. On a une marée semi-diurne à inégalité diurne.</p>  <p>Le cycle nodal a mis en évidence 2 cycles de marée avec une amplitude de l'ordre de 5cm</p> 
<p>Conclusion</p>		

Cette étude préliminaire sur la marégraphie à Abidjan a eu pour mérite de numériser 42 années de données horaires et d'évaluer pour la première fois la tendance du niveau marin à Abidjan. Les tendances pendant la saison pluvieuse 2,93 mm/an et pendant la saison de crue 2,78 mm/an sont au dessus de la tendance générale à partir des Nma 2,61 mm/an. la tendance globale sur la façade Atlantique est estimée à 1,76 mm/an. Les côtes Abidjanaises feraient ainsi parties des zones les plus vulnérables à l'élévation du niveau de la mer et à l'intensification des hauteurs de tempêtes de houle.



VULNERABILITÉ DU LITTORAL DU DELTA DU SALOUM DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Sakho, I.¹, Sadio, M.^{2,4}, Camara, I.^{2,4}, Sall, M.³, Seck, A.⁴, Noblet, M.⁴, Diouf, M.⁵, Machu, E.^{2,6}, Sow, B.⁷, Sall, S.M.², Diouf, B.⁸, Faye, S.⁸

- ¹Département Sciences Expérimentales, Université de Thiès, Cité Malick Sy, BP 967, Thiès, Sénégal
- ²Laboratoire de Physique de l'Atmosphère et de l'Océan-Siméon Fongang (LPAO-SF) Ecole Supérieure Polytechnique/Université Cheikh Anta Diop de Dakar/ BP: 5085 Dakar fann
- ³Centre de Suivi Ecologique de Dakar, BP 15532, Dakar-Fann, Dakar, Sénégal
- ⁴Climate Analytics gGmbH, Ritterstraße 3, 10969 Berlin, Germany
- ⁵Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés, Parc forestier de Hann, Dakar, Sénégal
- ⁶Université de Brest, CNRS, IRD, Ifremer, Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale (LOPS), IUEM, Brest, France
- ⁷Laboratoire d'Océanographie, des Sciences de l'Environnement et du Climat (LOSEC), Université Assane SECK de Ziguinchor BP 523 Ziguinchor - Sénégal
- ⁸Département de Géologie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, BP 5005 Dakar-Fann, Sénégal

REFMAR Mars 2019, Paris La Défense, France

PROBLEMATIQUE & ENJEUX

Delta du Saloum : Un ensemble de corps sédimentaires sableux : Cordon, grande flèche, bancs de sable, petites flèches sableuses au niveau des îles. Cette embouchure est extrêmement dynamique avec un taux d'élargissement moyen d'environ 200 m/an depuis son ouverture par la tempête du 24 février 1987.

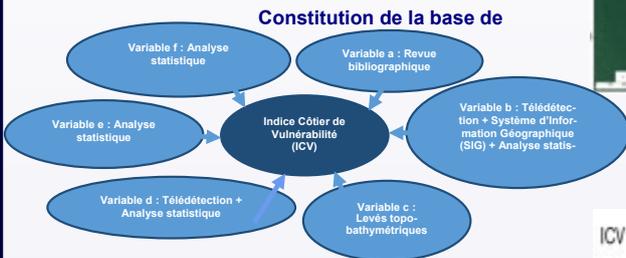
Conséquences : forte érosion des îles en face de l'embouchure, augmentation du prisme tidal, hypersalinitisation des eaux et des terres agricoles littorales, pertes de plage et impacts sur le tourisme, la pêche,...



METHODOLOGIE

Calcul de l'ICV : méthode USGS (Thieler et Hammar-Klose (1999 ; 2000a; 2000b) Levés topobathymétriques

6 facteurs ou variables de vulnérabilité : a. Géomorphologie, b. l'érosion/ accrétion du trait de côte, c. la pente côtière, d. Remontée relative du niveau marin, e. Hauteur moyenne des houles et f. l'amplitude moyenne de la marée



Calcul de l'index

$$ICV = \sqrt[6]{(a \times b \times c \times d \times e \times f)}$$

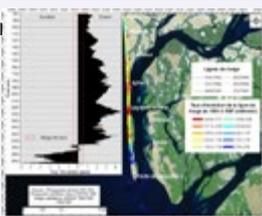
Variables	Classement de l'indice côtier de vulnérabilité (ICV)				
	Très bas	Bas	Modéré	Elevé	Très élevé
	1	2	3	4	5
Géomorphologie	Côtes rocheuses, côtes escarpées, Fjords, Fiards	Falaises moyennes, côtes dentelées	Falaises basses, dépôts glaciaires, plaines alluviales	Plages de galets, estuaire, lagune	Plages de barrières, plages de sable, marais salants, vasières, deltas, mangrove, récifs coralliers
Pente côtière (%)	> 1,20	1,20 - 0,90	0,90 - 0,60	0,60 - 0,30	< 0,30
Changement relatif du niveau de la mer (mm/an)	< 1,8	1,8 - 2,5	2,5 - 3,0	3,0 - 3,4	> 3,4
Erosion/ accrétion de la ligne du rivage (m/an)	> 2,0	1,0 - 2,0	-1,0 - +1,0	-1,1 - -2,0	< -2,0
Amplitude moyenne de la marée (m)	> 6,0	4,0 - 6,0	2,0 - 4,0	1,0 - 2,0	< 1,0
Hauteur moyenne des houles (m)	< 0,55	0,55 - 0,85	0,85 - 1,05	1,05 - 1,25	> 1,25

Source : (Thieler et Hammar-Klose (1999 ; 2000a)

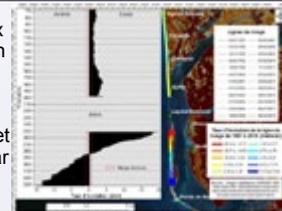
RESULTATS

1. Evolution pluridécennale de la flèche littorale de Sangomar avant l'ouverture de la brèche (de 1954 à 1987)

Recul maximal du trait de à Lagoba
Rupture du cordon sur ce segment 1 mois plus tard par une tempête (27 février 1987)



Fort taux d'érosion aux abords des îles Niodior et Dionewar

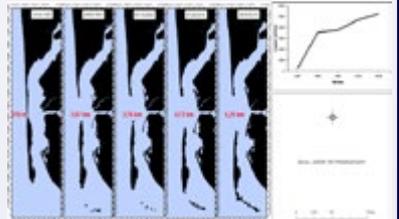


Taux moyen d'ouverture d'environ 164 m/an

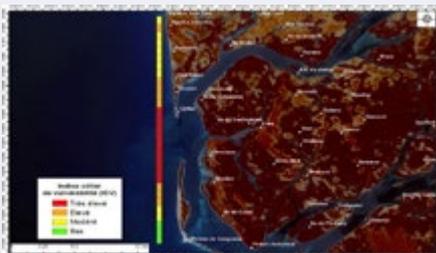
Forte dynamique dans cette zone d'embouchure

2. Evolution pluridécennale de la flèche littorale de Sangomar avant l'ouverture de la brèche (de 1987 à 2018)

3. Evolution pluridécennale de la brèche du Lagoba (de 1987 à 2018)



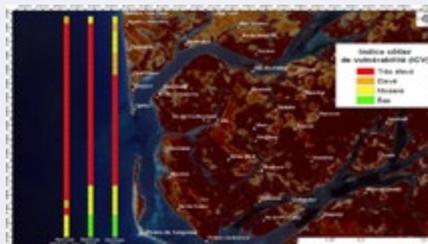
4. Indice côtier de vulnérabilité actuelle



ICV: de 0,05 à 3,30 avec 4 classes de vulnérabilité:

- **vulnérabilité modérée :** de Ngalou SS à Diakhanor, Nord Niodior - île de Guior ;
- **vulnérabilité élevée :** Ngalou Sessene, Diakhanor, Djiffère, Sud Nodior - île de Guior ;
- **vulnérabilité très élevée :** entre Djiffère et Niodior ;
- **vulnérabilité basse :** Sud l'île de Guior — Pointe de Sangomar .

5. Indice côtier de vulnérabilité future



ICV à l'horizon 2050 avec Hs max : de 0,52 à 34,91 ;

- **vulnérabilité élevée :** Ngalou SS, Nord de Ngalou Sessene, Nord île de Guior ;
- **vulnérabilité très élevée :** Ngalou Sessene, Sud île de Guior ;
- **vulnérabilité modérée :** entre le Sud de l'île de Guior et la pointe de Sangomar .

ICV à l'horizon 2035 : de 0,32 à 21,55 avec 4 classes de vulnérabilité :

- **vulnérabilité modérée :** Ngalou SS à Palmarin, du Sud de Niodior au Sud de l'île de Guior ;
- **vulnérabilité élevée :** Ngalou Sessene et entre Palmarin et Diakhanor ;
- **vulnérabilité très élevée :** de Diakhanor au Sud de Niodior ;
- **vulnérabilité basse :** Sud de l'île de Guior — pointe de Sangomar .



Morphodynamic responses of sandy and gravel beaches to hydrodynamic conditions

Antoine Soloy¹, Imen Turki¹, Nicolas Lecoq¹, Benoît Laignel¹, David Gutiérrez²

1. Normandie University, UNIROUEN, UNICAEN, CNRS, M2C, Morphodynamique Continentale et Côtière, 76000 Rouen, France
2. SandS, Centro de Negocios Fincia Pontania (La Albericia), Calle Rio Danubio 1, Planta 1, Oficina 16, 39012, Santander, Spain



Introduction

Nearly 50% of the world's population currently lives in coastal areas (Cohen et al., 1997), which represents a population density three times higher than the global average (Small and Nicholls, 2003), which projections predict will significantly increase in the 21st century (Nicholls et al., 2008; Neumann et al., 2015; Merkens et al., 2016). Populations, activities and ecosystems are thus exposed to the many natural risks associated with these types of environments, including storms, marine submersions, tsunamis and coastal erosion. An increase in frequency and intensity of these risks is also expected in the ongoing context of climate change (Shongwe et al., 2008; Gastineau and Soden, 2009; Cai et al., 2014; Cai et al., 2015). For these reasons, it is **crucial** to have a detailed **understanding of coastal systems' functioning mechanisms and the ability to predict their evolution** in order to adapt our societies to the consequences of climate change and to protect humans and environmental interests on the coasts.

Among the different types of coasts (rocky, sandy, with cliffs, etc.), **beaches** are loose and deformable sedimentary deposits composed of mobile materials (mud, sand, gravel) that may or may not be cohesive, and whose **morphology significantly influences the impact of extreme events on the coast**. Previous studies have made it possible to develop **models for predicting the response of sandy beaches** under different hydrodynamic conditions in **microtidal contexts**, notably through the development of **memory effect and recovery time** concepts.

With its **macrotidal** environment and **pebble beaches**, the evolution of the **Normandy coastline** is challenging to predict because this type of beach has barely been studied thus far. This poster is presenting the thesis conducted by Antoine Soloy at M2C laboratory (Continental and Coastal Morphodynamics) of the University of Rouen Normandy, under the direction of Imen Turki and Nicolas Lecoq. Its objective is to better understand the processes involved in the hydromorphological dynamics of the Normandy coast in order to develop new tools and concepts adapted to the modeling of such environments.

1 – Beach : Definition, processes and classification

According to Short (1999), a beach is a **wave-accumulated** sediment deposit that extends from the base of the modal wave height zone - the maximum depth over which waves can move sediment - to the upper limit of the swash zone - beyond which the waves have no influence on the sediment (Fig. 1). Between these two limits, we find a subaerial zone with the presence of one or more berms, followed by a shallow depth surf zone, where waves break, and finally an area of shoaling further offshore, where the slope increases.

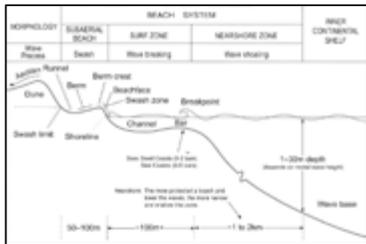


Fig. 1 – Definition sketch of a high-energy beach system, including the zone of wave shoaling across the nearshore zone, wave breaking across the surf zone and final wave dissipation in the swash zone. Low-energy beaches are smaller in scale and have a small to non-existent surf zone. (Short, 1999)

On a global scale, beaches can be found on any coast that is exposed to waves and whose sediment is sufficiently abundant and mobile. While no other parameters are essential for their presence, beach morphology is **significantly influenced** by different environmental conditions, including **tidal range, wind, sediment quality** (size, shape, composition), **area size and shape**, presence of **vegetation and water temperature and chemistry** (Short, 1999).

Thus, a beach's morphology is the result of the **interaction between numerous physical factors** whose relative influences **continuously change over time**, varying the **cross-shore and long-shore transports** that cause morphological changes. Wright and Short (1984) classified beaches according to their morphology, showing that it depends on each beach's ability to **dissipate or reflect** wave energy (Fig. 2). This classification has since been expanded to take into account the influence of the tidal range, and is generally adapted to the regions studied (Scott et al., 2011).

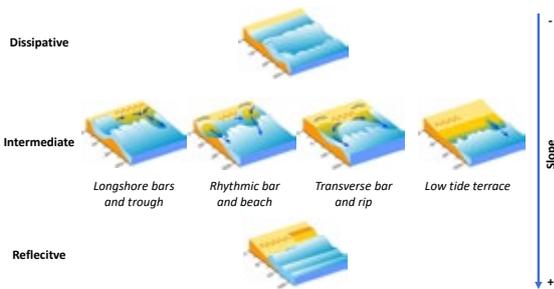


Fig. 2 – Beach classification of Wright and Short (1984), modified from NIWA (National Institute of Water and Atmospheric Research) of New Zealand.

2 – Concepts for modeling beach dynamics : Recovery time – beach memory effect

Modeling is a key step in the coastal management process, as it makes it possible to predict the consequences of voluntary or involuntary changes in the conditions of an environment like a beach. To this end, numerous studies have been carried out to develop different concepts related to the evolution of beaches, two examples of which are displayed in the following.

The **recovery time** corresponds to the time required by a beach to return to a state of equilibrium after the occurrence of a natural or anthropogenic disturbance (storm, nourishment...). For example, it was implemented by Turki et al (2015) to model the rotation and translation of the coastline in Barcelona, Spain, highlighting its evolution over time. They observed that at each event, the parameter studied significantly deviates from its equilibrium state and then gradually tends to return to it (fig. 3).

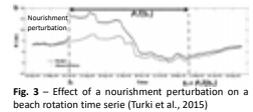


Fig. 3 – Effect of a nourishment perturbation on a beach rotation time series (Turki et al., 2015)

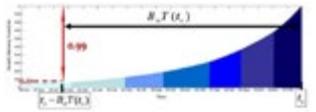


Fig. 4 – Beach memory function exponentially increasing while getting closer to the present time (Turki et al., 2012)

The concept of **memory effect** developed by Turki et al (2012) highlights the impact of disturbances on the beach morphology at a given time. The authors thus show that the instantaneous beach profile depends on the integral of events energy that preceded it, weighted by an exponential factor (fig. 4 ; eq. 1).

$$B_t F(x, t) = e^{-\lambda(t-t_0)} \int_{t_0}^t E(x, t') dt' \quad (eq. 1)$$

3 – Applications to the Normandy coasts

Famous for its chalk cliffs, the **Normandy coast** is dotted with **pebble and sandy beaches** that are subject to the **semi-diurnal macrotidal tides** of the English Channel. As such conditions have been studied very little in terms of the morphological evolution of the coastline under the influence of storms, it is essential to focus on it in order to better understand the mechanisms that take place and to develop effective prediction capabilities, particularly in the context of climate change.

To this end, with the participation of local authorities, **Pourville sur Mer** beach, an **intermediate pebble beach** located near Dieppe, has been equipped with a system of video cameras capable of continuously recording the beach conditions (fig. 5). The geometry of the images captured is corrected to enable the extracting of morphological (foreshore topography) and hydrodynamic (height, period, wave velocity) information. Eventually, the data will be used as parameters in a model for predicting the morphological evolution of beaches, using concepts such as the **relaxation time and beach memory**, especially during **storm events**, which are expected to increase in intensity and frequency as consequences of **climate change**.

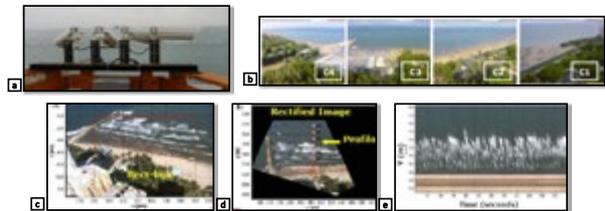


Fig. 5 – a: Example of a video monitoring installation in Spain. b: Panoramic view as captured by cameras. c: Region of Interest (red box). d: geometry correction and profile definition (red line). e: time stack of pixel colors along the defined profile.

In the future, several other camera installations will be set up, notably in **Villers sur Mer**, where the beach is **dissipative and sandy with macrotidal tides**.

4 – Acknowledgements

This thesis is part of a regional RIN Normand project (Raiv CoT), two national projects including an ANR one (RICOCHET) and a Fondation France one (REV Cot), and the international NASA/CNES project (SWOT COTEST).

We would like to acknowledge the cities of Villers sur Mer, Pourville sur Mer and Etretat for their support and membership of this research project.

We also acknowledge Jackie Steele for her help with the translation.

5 – References

Cai W, Wang G, Santoso S, McPhaden M. J., Wu L, Jin F-F, Timmermann A, Collins M, Vecchi G, Lengaigne M, England M. H., Dommenget D, Takahashi K, Gulyardi E., 2015. Increased frequency of extreme La Niña events under greenhouse warming. *Nature Climate Change* 5, pp. 132-137, doi:10.1038/nclimate2492

Cai W, Borlace S, Lengaigne M, van Rensch P, Collins M, Vecchi G, Timmermann A, Santoso A, McPhaden M. J., Wu L, England M. H., Wang G, Gulyardi E., Jin F-F, 2014. Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Climate Change* 4, pp. 111-116, doi:10.1038/nclimate2100

Cohen J. E., Small C., Mellinger A., Gallup J., Sachs I., 1997. Estimates of coastal populations. *Science* 278 (5341), pp. 1209-1213, doi:10.1126/science.278.5341.1209

Gastineau G., Soden B. J., 2009. Model projected changes of extreme wind events in response to global warming. *Geophysical Research Letters* 36 (10), 5p, doi:10.1029/2009GL037500

Merkens J., Reimann L., Hinkel J., Vafeidis A. T., 2016. Gridded population projections for the coastal zone under the Shared Socioeconomic Pathways. *Global and Planetary Change* 145, pp. 57-66, doi:10.1016/j.gloplacha.2016.08.009921-8181

Neumann B., Vafeidis A. T., Zimmermann J., Nicholls R. J., 2015. Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding - A Global Assessment. *PLoS ONE* 10 (3), 34p, doi:10.1371/journal.pone.0118571

Nicholls R. J., Wong P. P., Burkett V., Woodroffe C. D., Hay J., 2008. Climate change and coastal vulnerability assessment: scenarios for integrated assessment. *Sustain Sci* 3, pp. 89-102, doi:10.1007/s11258-008-9050-4

Scott T., Masseleuk G., Russel F., 2011. Morphodynamic characteristics and classification of beaches in England and Wales. *Marine Geology* 286 (1-4), pp. 1-20, doi:10.1016/j.margeo.2011.04.004

Shongwe M. E., van Oldenborgh G. J., van den Hurk B., van Aalst M., 2010. Projected Changes in Mean and Extreme Precipitation in Africa under Global Warming. *Int J Earth Atmos. Environ. Res* 4, pp. 3718-3733, doi:10.1155/2010/102863.1

Short A. D., 1999. *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*, 379p, isbn:0-471-96970-7

Small C. and Nicholls R. J., 2003. A Global Analysis of Human Settlement in Coastal Zones. *Journal of Coastal Research* 19 (3), pp. 584-599, doi:10.2307/4299200

Turki I., Medina R., Gonzales M., 2012. Beach memory. *Jane McKee Smith (Ed.), Proceedings of the 33rd International Conference, World Scientific, Santander, Spain*

Turki I., Medina R., Gonzales M., 2015. Shoreline relaxation at pocket beaches. *Ocean Dynamics* 65 (9-10), pp. 1221-1234, doi:10.1007/s10236-015-0869-9

Wright L. D., Short, A. D., 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology* 56 (1-4), pp. 93-118, doi:10.1016/0025-3227(84)90008-2



CARTOGRAPHIE DE L'EVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE DE PORT-BOUET (CÔTE D'IVOIRE) A L'AIDE DE L'OUTIL MOBITC



Jacques André TIEMELE¹, Jean-Médard BOUAFLOU¹, Abaka Brice Hervé MOBIO¹, Eric Mimri Valère DJAGOUA¹
¹Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection, Université Félix Houphouët-Boigny, Cote d'Ivoire
²Département des Géosciences marines, UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université Félix Houphouët-Boigny, Cote d'Ivoire
 emails: atiemele@curat.edu.ig; jandrielemiele@curat.edu.ig

INTRODUCTION

La dynamique côtière permet d'expliquer l'évolution des côtes en fonction des phénomènes qui les entourent et les modifient. Cette évolution dynamique, qui a cours depuis des millions d'années, pose désormais aux communautés côtières d'importants défis d'adaptation. Depuis environ quarante ans, cette évolution d'origine naturelle ou anthropique s'accélère et devient une problématique sérieuse en Côte d'Ivoire. Notamment à Port-Bouët la destruction des infrastructures (route, phare, habitats, etc.) et autres biens par la mer est quasi quotidienne et spectaculaire. Par ailleurs, diverses études ont montré qu'il y a recul du trait côte dans les secteurs les plus dynamiques du littoral : San-Pédro, Grand-Lahou et Port-Bouët (ABE *et al.*, 1993; HAUHOUIT *et al.*, 1997; KONAN *et al.*, 2009; WOGNIN *et al.*, 2013; KOFFI *et al.*, 2014; DJAGOUA *et al.*, 2016).

OBJECTIFS

Objectif général
 Evaluer la dynamique côtière à l'échelle locale en vue d'un meilleur aménagement du littoral de Port-Bouët.

Objectifs spécifiques

- Étudier avec précision l'évolution du trait de côte (TDC) de Port-Bouët entre 1985 et 2016;
- Exploiter statistiquement à haute résolution spatiale, l'évolution des TDC.

RÉSULTATS

- La cartographie de l'érosion du trait de côte de Port-Bouët montre des vitesses qui varient de -0,58 à -3,06 m/an. Les mouvements les plus importants sont observés au niveau de la section de Vridi-Canal-SIR -2,61 m/an sur la trace 16, du Phare - 3,06 m/an sur la trace 53, de l'Aéroport -2,73 m/an sur la trace 80.
- La tendance évolutive du trait de côte est une érosion générale de la plage du littoral Est de Port-Bouët avec par ailleurs un engraissement de 0,57 m/an au niveau de Vridi-canal SIR (figure 3).

PRÉSENTATION DU SITE D'ÉTUDE

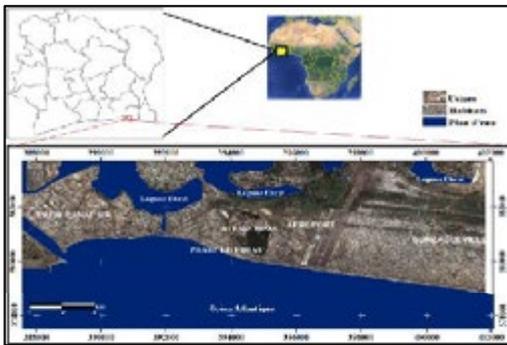


Figure 1 : Zone d'étude

MATÉRIEL ET MÉTHODES

❖ **Choix de la ligne de référence – Pré-traitements des images et digitalisation des TDC**
 Dans le cadre de cette étude, la ligne de rivage instantanée (qui correspond à la surface marine déformée par l'onde de marée et la pente de l'estran à l'instant de l'enregistrement) a été retenue pour l'extraction des lignes de côte sur les images satellitaires car, elle est une représentation satisfaisante de la position moyenne du trait de côte. L'approche méthodologique a consisté en la compilation de données issues d'images satellitaires multitemporales de la zone d'étude de 1985, 1989, 1993, 1997, 2001, 2005, 2009, 2013, et de 2016 disponibles sur Google Earth. Ces images ont été d'abord géoréférencées puis rehaussées avant de subir un seuillage à l'aide du logiciel Envi 3.5, en améliorant la qualité visuelle des contours des deux entités terre-eau facilitant ainsi la numérisation des traits de côtes (TDC). Tous les traits de côte extraits ont fait l'objet de conversion dans le logiciel QGIS au format de fichier « mil/mid », compatible avec le logiciel MobITC.

❖ **Exploitation statistique de l'évolution des traits de côtes**
 MobITC génère automatiquement une ligne de base et des traces perpendiculaires à cette ligne, sur lesquels sont créées des intersections permettant d'effectuer les calculs statistiques. Pour y parvenir, il a été important de procéder à une squelettisation, c'est-à-dire la génération d'une ligne médiane à travers l'enveloppe, à partir du diagramme de Voronoï et de points situés à tous les 10 m sur les nœuds du contour de l'enveloppe. Un nettoyage du squelette a été effectué, ce qui a permis de générer 133 traces générées pour un espacement de 10 m sur lesquelles les calculs statistiques ont été faits (figure 2). Deux méthodes ont été utilisées pour estimer statistiquement l'évolution du trait de côte dans la zone côtière de Port-Bouët. Ce sont la méthode des points extrêmes (End Point Rate, EPR) qui permet d'estimer les vitesses d'érosion et la méthode de la régression linéaire (Ordinary Least Square, OLS) correspondant à la régression linéaire par la méthode des moindres carrés a permis de calculer le taux d'évolution (érosion / engraissement) entre deux traces (DOLAN *et al.*, 1991; GENZ *et al.*, 2007).

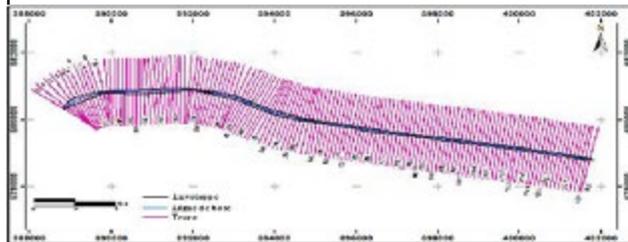


Figure 2 : Génération des traces et de la ligne de base par MobITC

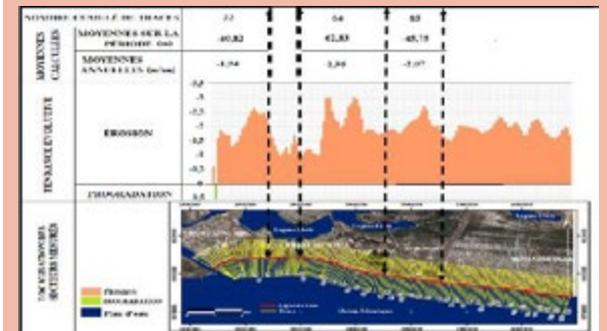


Figure 3 : Cartographie de l'érosion du trait de côte de Port-Bouët basée sur l'EPR

- L'estimation statistique basée sur l'OLS montre un fort dynamisme du trait de côte au niveau de la section de Vridi-Canal-SIR avec des taux d'érosion de -2,15 m/an, du Phare -2,73 m/an, de l'Aéroport -2,51 m/an (figure 4).
- La tendance évolutive du trait de côte est une érosion générale de la plage du littoral Est de Port-Bouët avec par ailleurs un engraissement de +0,26 m/an au niveau de Vridi-canal SIR.

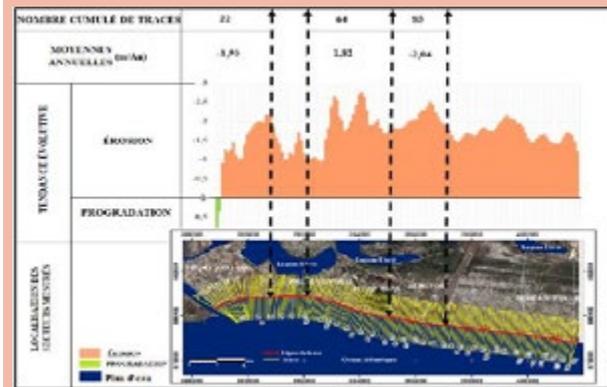


Figure 4 : Cartographie de l'érosion du trait de côte de Port-Bouët basée sur l'OLS

CONCLUSION

- L'outil MobITC a permis de calculer avec plus de précision les vitesses et les taux d'érosion du trait de côte de Port-Bouët. 133 traces ont été générées pour un espacement de 10 m.
- Cet outil serait d'une grande utilité pour l'actualisation de l'étude de l'évolution du trait de côte en Côte d'Ivoire. L'évolution spatio-temporelle de la position de la ligne instantanée de rivage à Port-Bouët a permis d'évaluer la dégradation de cette section du littoral. Les études effectuées montrent un taux moyen de recul de -1,73 m/an dans le secteur Est du littoral de Port-Bouët entre 1985 et 2016 causant ainsi une érosion dans cette zone.

REMERCIEMENTS

• Côtine TRMAL - Cerema Méditerranée - Pôle d'activité - 30 rue Albert Einstein - CS 70499 - 13593 Aix-en-Provence CEDEX 3



Multi-scale Sea Level Dynamics of English Channel Coasts

Imen TURKI¹, Nicolas MASSEI¹, Lisa BAULON¹, Marie Jabbar¹, Derya DILMEN¹, Kevin GRAFF², Stéphane COSTA², Benoît LAIGNEL¹

¹UMR CNRS 6143 M2C, Département Géosciences et Environnement, Université de Rouen, Mont-Saint-Aignan, France; imen.turki@univ-rouen.fr
²UMR CNRS 6143 M2C, Département Géosciences et Environnement, Université de Rouen, Mont-Saint-Aignan, France



Motivations

Sea level and storm dynamics are considered the main cause for changes of coastal systems. In the context of increased coastal hazards due to variability in storminess patterns, the danger of coastal damages and/or morphological changes is related mainly to the sea level conditions and storm surges.

Investigate the nonstationary behavior of the sea level within the English Channel, from French to Britannic coasts, and seek to make its connection to the climate patterns at different time scales represent the main purposes of this work.

English Channel (Fig. 1) represents a sleeve-like shallow sea between Northern France and South England, connecting Atlantic Ocean to North Sea. A megaflood due to melting of retreating glaciers in the southern North Sea geographically separated Britain from Europe and formed English Channel at the last Quaternary Period (Collier et al. 2015).



Methodological Approach

Sea level signal has been filtered from the tidal modulation and surges have been obtained once the mean sea level trend and the harmonic components were removed.

Envelope technique has been applied to the signal of surges (non-tidal timeseries). The envelope identification depends on extrema detection followed by a low-pass filter. The envelopes of real signals are obtained using a spline interpolation from extrema sequences, as used for instance in the empirical mode decomposition (Turki et al., 2019).

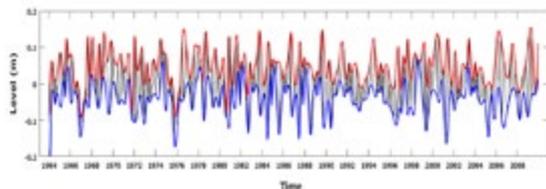


Fig 2. Envelope technique to calculate the demodulated signal: the maxima (red line) and the minima (blue line) envelopes of the mean monthly surges (black line).

Spectral approach has been applied to the demodulated signals by the use of the continuous wavelet transform (CWT), with the aim to explore the spectral content of the oceanographic signals. Typical scales of variability of each time series were thus detected and a first comparison of time-scale patterns identified in each variable was undertaken. CWT produces a time-scale contour diagram on which time is indicated on the x-axis, period or scale on the y-axis and amplitude (or variance) on the z-axis.

Multiresolution analysis into different internal components of surges corresponding to different time-scales has been used with the aim to separate into a relatively small number of wavelet components from high to low frequencies that altogether explain the variability of the signal, as this will be illustrated later using sea level time series. Similar techniques have been used by Massei et al.,(2017) and Turki et al., (2019).

Nonstationary Sea Level Dynamics

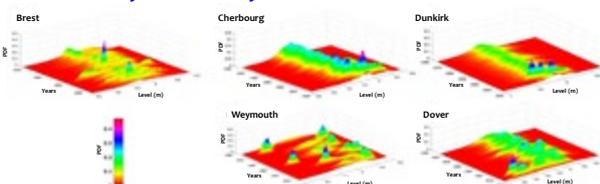


Fig 3. Annual Distribution of the probability density function (PDF) of surges. The distribution domain of changes varies between years and stations. Surges show a non-uniform multi-scale variability significantly in time. This behavior proves a non-stationary dynamics of sea level depending on the time scales

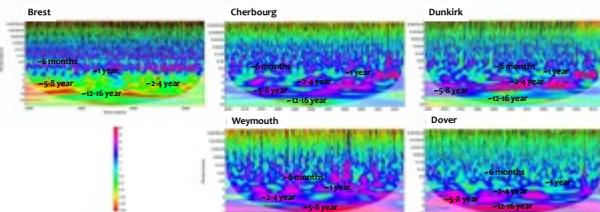


Fig 4. CWT of surges showing the changes of the different spectral variance at intermonthly (~3-6 months), interannual (~1-y; -2-4-y; -5-8-y) and interdecadal (~12-16-y) time scales. The behaviour changes depending on the frequency component and the station.

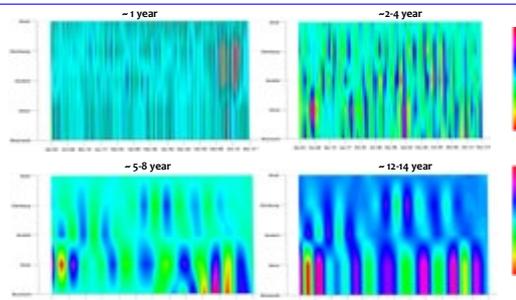


Fig 4. Multiresolution decomposition of surges showing the multi-scale variability from the interannual to the multidecadal scales.

Multi-scale sea level dynamics with Climate patterns

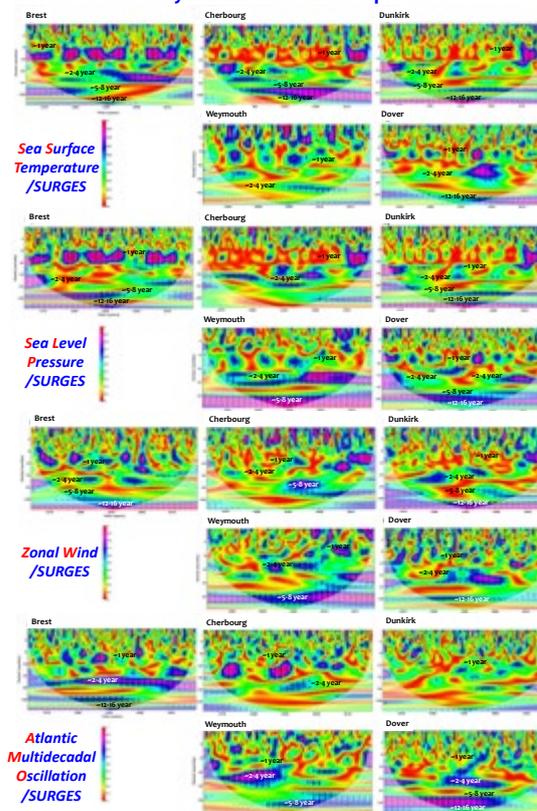


Fig 5. Cross-correlation wavelet diagrams between surges and climate patterns.

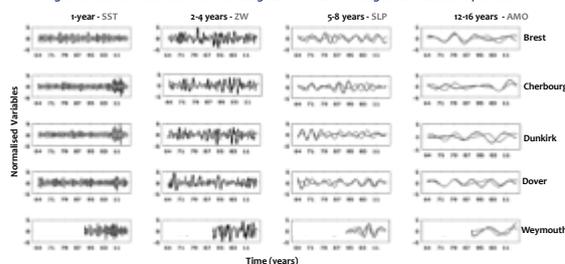


Fig 6. Correlation between the spectral components of surges and climate patterns by the use of the multi-scale components of the wavelet details at different time scales: 3 months, ~6 months, ~1-y, ~2-4-y, ~5-8-y, ~12-16-y. The effect of driving forces induced by the climate connections has proved to be significantly different at all scales.

Acknowledgments

This study is carried out and supported in the framework of the RIN RAVI COT project with collaboration of University of Rouen, Normandy and University of Caen, Normandy. The authors would like to thank SHOM-REFMAR for providing sea level observations.



**Jeudi 28 mars
et
vendredi 29 mars**



Tide-gauges Network and Altimetric Reference in Algeria

Hassen ABDELLAOUI⁽¹⁾, Abdelkader MENASRI⁽²⁾, Mohamed Aïssa MESLEM⁽³⁾

- (1) INCT-BP 123, Rue de Tripoli, BP430, Hussein Dey, Alger, Algérie, contact@inct.dz
- (2) SHFN - Service Hydrographique des Forces Navales, Algérie, Alger, Algérie, contact@shfn.dz
- (3) INCT-BP 123, Rue de Tripoli, BP430, Hussein Dey, Alger, Algérie, contact@inct.dz



Abstract: The National Institute of Cartography and Remote Sensing by its main activity is responsible for implementing over the national territory basic geodetic networks: GNSS, gravity and leveling networks. The heights of the Algerian leveling network are related to several origins, level deduced from the indications of the Medimaremeter of la Goulette (Tunisia), height of the landmark of "Porte De France" (Tunisia), or the altitude of the console placed at the Sidi El Hemessi station (Tunisia) in 1914, aware about the importance to provide the national territory with a precise altimetric reference, the INCT has invested in the implementation of automatic acquisition tide gauges along the Algerian coast in collaboration with the Hydrographic Service of the Naval Forces in order to observe the sea level in the Mediterranean sea, first to bring the bathymetric surveys to a stable reference, the hydrographic zero or zero of the nautical charts, then to predict the tide or to define reference levels. Through this poster, we present an overview of the current Algerian tide-gauges network and the exploitation of data from acoustic tide-gauges recently installed at the ports of Algiers, Jijel, Oran, Ghazaouet, Ténès and Annaba, in the perspective to a vertical datum determination.

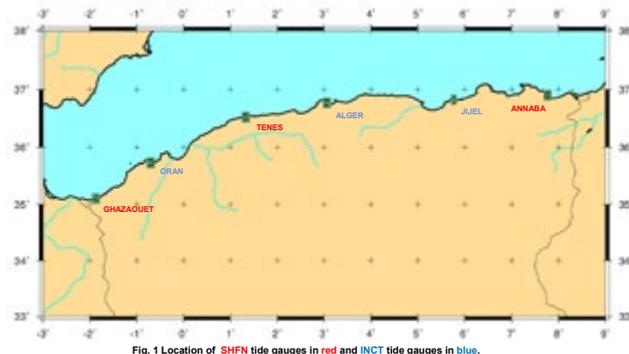


Fig. 1 Location of SHFN tide gauges in red and INCT tide gauges in blue.



Figure 2. Tide gauge of Jijel.



Figure 3. Tide gauge of Oran.

Stability Analysis: Estimation of the Mean Sea Level relative to Hydrographic Zero.

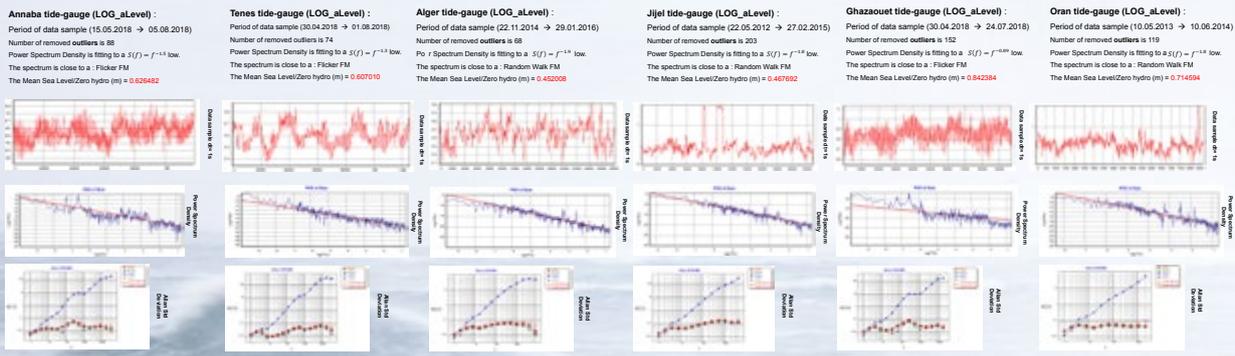


Fig. 4. Noise characterization and Mean Sea Level Estimation relative to Hydrographic Zero: Ghazaouet, Oran, Tenes, Algiers Jijel and Annaba Tide gauges.

Global Levelling Network of Algeria (NGA): National Altimetric Reference.

- Development of solution for levelling ajustement**
- o Levelling line along the East-West highway from Constantine to Oued Tlélat via Berraki (700 km);
 - o Attachment of the three tide gauges to recent leveling lines (East / West Highway) for a total of 160 km;
 - o Attachment of the three tide gauge stations to the permanent GNSS network; Levelling line of the axis: Algiers-Ténès-Mers El Kebir on the coast for processing purposes; [398 benchmarks known in GPS coordinates];
 - o Adjustment of the selected leveling lines (East / West highway and the tidal stations connection) by adjustment constraints by introducing the new values of the altimetric references.



Fig. 5. Levelling line.

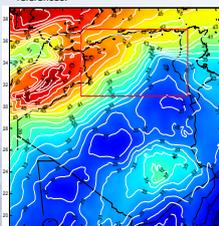


Fig. 6. Gravimetric geoid.

- Data used for the local geoid determination:
- Gravity data: BGI, GETECH, SONATRACH, etc.
 - Earth Gravitational Model: EGM 2008
 - Digital Terrain Model (SRTM)
 - Grid of lateral densities
 - GPS leveling points

Altimetry Conversion Grid

Rep. No.	H Ell. (m)	N Grav. (m)	h ortho. (m)	h ortho. Calc. (m)	Ecart (m)
79	47.033	44.542	2.491	2.491	.004
80	46.676	44.543	2.133	2.133	.002
8012	47.887	45.831	2.057	2.056	.001
8013	52.905	45.831	7.074	7.070	.003
8015	46.870	45.831	1.039	1.039	.002
8016	46.658	45.831	1.027	1.028	.001
ALGER	70.648	45.959	24.720	24.689	.001
1000	106.281	27.827	78.454	78.454	.001
8022	70.226	45.266	24.960	24.920	.004
8149	63.775	46.256	17.519	17.519	.006
8147	58.200	46.272	12.972	12.968	.005
8155	63.817	46.238	17.579	17.528	.005

Harmonic Analysis : Determination of the Mean Sea Level relative to Hydrographic Zero.

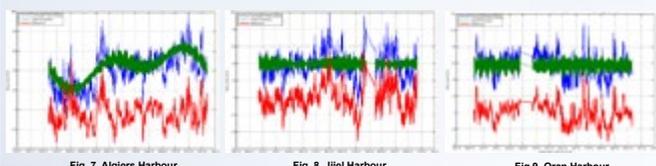


Fig. 7. Algiers Harbour

Fig. 8. Jijel Harbour

Fig. 9. Oran Harbour

- o Preprocessing of the tide gauge data of the three (03) stations of Algiers (more than 04 years), Jijel and Oran (more than 02 years);
- o Processing and analysis of the tide gauge data of the three stations for the definition of zero altitude references (Softwares used: Log-alevel, FileJester and T-Tide [adapted by CTS]).

References	Altitude NGA (m)	New Altitude (m)
GPS4 (Alger)	1.2008	1.1128
Rivet (Jijel)	1.8445	1.8045
GPS1 (Oran)	2.1311	1.8811

Conclusion: The implementation of six automatic tide gauging stations along the Algerian coast (Ghazaouet, Oran, Ténès, Algiers, Jijel and Annaba) is of great interest, particularly for the monitoring of sea level variations and the definition of the national reference. As part of a development project for the definition of the new altimetric reference, a first processing of tide gauge data from the oldest stations by harmonic analysis was carried out in collaboration with scientists from the CTS; leading to determine the mean sea level at the Algiers, Jijel and Oran harbors. The analysis of the results has shown a slight change between the current elevation reference and the one determined at the Algiers (6.6 cm) and Jijel ports (5.8 cm), but relatively important at Oran port (24 cm). Stability analysis of the data from the six tide stations at different times shows that the signals are affected by power law noise processes, Flicker FM and Random Walk FM. The mean sea level along the Algerian coast is not at an equal distance from the surface of the hydrographic datum, because not the same value has been found between the hydrographic datum and the new reference in each station. In perspective, the long-term analysis of tide gauge data will allow the definition of a new altimetric reference that will serve as a zero origin for the Algerian general leveling network.

Journées REFMAR 2019 – 28 mars 2019 – Session « Observation du niveau marin au profit de la recherche »

Le projet GEODESIE : les références géodésiques au service de l'observation du niveau des mers

D. Coulot* et l'équipe du projet GEODESIE (cf. B)

* IGP, IGN, Université Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité, CNRS UMR 7154, GRGS, Paris, France
ENSG, Champs-sur-Marne, Marne la Vallée, France
IMCCE, Observatoire de Paris, PSL Université Paris, CNRS UMR 8028, GRGS, Paris, France
E-mail : geodesie.anr@ign.fr



Vue d'ensemble

De nombreux indicateurs majeurs du changement climatique sont surveillés avec des observations spatiales (montée du niveau des mers par altimétrie satellitaire, fonte des glaces par des satellites dédiés, etc.). Cette surveillance dépend donc fortement de références fournies par la géodésie (positions et vitesses d'instruments au sol, orbites de satellites, etc.). La qualité actuelle de ces références ne permet pas de répondre complètement aux enjeux posés par le système dynamique Terre, et peut ainsi limiter la qualité de ces indicateurs. Pour cette raison, dans le cadre du Système d'observation géodésique global (GGOS, ggos.org), des objectifs de qualité stricts ont été fixés pour le Repère de référence terrestre international (ITRF, trf.ign.fr) : une exactitude d'un mm et une stabilité d'un mm/an. Cela représente une amélioration de la qualité actuelle de l'ITRF d'un facteur 5 à 10.

Améliorer la qualité des références géodésiques est un enjeu qui nécessite une réévaluation complète des méthodes mises en jeu. Parmi les approches possibles pour améliorer cette qualité, les méthodes de type COL (Combination at Observation Level) sont étudiées depuis le début des années 2000, notamment par le Groupe de recherche de géodésie spatiale (GRGS, grgs.obs-mip.fr). Elles reposent sur des combinaisons directes des observations géodésiques utilisées pour déterminer les références officielles du Service International de la rotation de la Terre et des systèmes de référence (IERS, www.iers.org). Le projet GEODESIE propose de porter ces approches à un niveau encore jamais atteint pour : (i) déterminer des références globales et cohérentes de grande qualité (séries temporelles de repères terrestres et célestes, paramètres d'orientation de la Terre, orbites de satellites, etc.) et (ii) mettre ces références à disposition des communautés de recherche en géophysique et climat, pour de meilleures estimations de la montée du niveau des mers, du bilan de masse des glaces et du changement global. Des séries temporelles de niveaux des mers géocentriques, calculées à partir de données altimétriques et d'enregistrements de marégraphes avec ces références, seront également mises à disposition de la communauté scientifique mondiale. Tous les résultats et rapports de calcul et d'évaluation seront disponibles sur le site Internet du projet.

Ce projet, financé par l'Agence nationale de la recherche (ANR, www.agence-nationale-recherche.fr), entre mars 2017 et septembre 2021, est donc une excellente opportunité pour le GRGS de se doter de moyens de simulations et de traitements de données pour contribuer significativement au GGOS. Il doit aussi nous permettre de préparer au mieux l'avenir possible, dans un futur proche, de missions spatiales telles qu'E-GRASP (European Geodetic Reference Antenna in Space). Enfin, il va également nous permettre de poser dès maintenant les jalons de la géodésie de demain, pour laquelle il nous faudra assimiler de plus en plus de données diverses dans une modélisation de plus en plus complète de notre Planète, alors véritablement appréhendée comme un système de sous-systèmes en interaction totale, et non plus comme une juxtaposition de compartiments indépendants.

Équipe projet

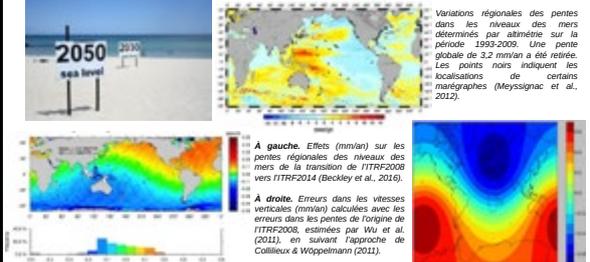
Au 1^{er} février 2019, l'équipe du projet comprenait 24 personnes, de six instituts/laboratoires différents. Elle sera renforcée, pendant deux ans, en septembre 2019, par un post-doctorant.

<p>IGN (Paris, Saint-Mandé, Marne la Vallée)</p> <p>Bruno Garayt</p> <p>Laurent Métyvier, Samuel Nahmani, Arnaud Pollet, Paul Reibschung, Vladimir Schott Guilmault* (dans l'équipe géodésie de l'UMR IGP)</p> <p>Xavier Collilieux, David Coulot, Franck Tertre</p> <p>* Double affiliation CNES/IGN</p> <p>Soutien à l'équipe projet à l'IGN</p> <p>Virginie Quedeville, Christiane Guillaureau-Zahra, Marie-Claude Foubert, David Correia, Alain Sombiris, Patrick Bouron.</p> <p>Experts « niveau des mers » (Toulouse, Paris et la Rochelle)</p> <p>Benoit Meyssignac</p> <p>Pascal Bonnefond</p> <p>Guy Wöppelmann</p>	<p>CNES – GET (Toulouse)</p> <p>Richard Biancale*, Julien Laurent-Varin, Jean-Michel Lemoine, Jean-Charles Marty, Flavien Mercier, Felix Perosanz, Franck Reinquin</p> <p>* Au GFZ depuis septembre 2018</p> <p>Observatoire de Paris</p> <p>Christian Bizouard, Sébastien Bouquillon, Sébastien Lambert, Jean-Yves Richard</p> <p>Florent Dellefille</p> <p>Personnes ayant contribué ou contribuant aussi au projet</p> <p>Zuhair Altamimi (IGPP, IGN, Paris) Michel Capderou (LMD, Palaiseau) Kristel Chanard (IGPP, IGN, Paris) Armelie Cognet (IGN, Saint-Mandé) Alexandre Couhert (CNES, GET, Toulouse) Kevin Eyermann (IGN, Saint-Mandé) Médéric Gravelle (IERS, la Rochelle) Sylvain Loyer (CLS, Toulouse) Jean-Michel Muller (IGN, Saint-Mandé) Thomas Sandri (NAVYA, Paris) Alvaro Santamaría-Gómez (GET, Toulouse)</p>
---	--

Références géodésiques et Sciences de la Terre

« The current scientific and societal user requirements are demanding in terms of accuracy, resolution, latency and reliability, and the requirements are expected to increase in the future. The GGOS products must have sufficient accuracy, temporal and spatial resolution, and latency to meet these requirements, which can be achieved by meeting the most demanding requirements. [...] In order to have a frame at least an order of magnitude more accurate than the signal to be monitored, the terrestrial reference frame should be accurate at a level of 1 mm and be stable at a level of 0.1 mm/yr. » [Plag & Pearlman, 2009].

Les références géodésiques sont fondamentales, non seulement pour surveiller et comprendre la montée du niveau des mers, mais aussi pour l'astronomie, la géophysique, etc., et un grand nombre d'applications sociétales. Voir aussi la résolution A/69/L.53 des Nations Unies (www.un.org/en/ga/search/vis/doc.asp?symbol=A/RES/69/266) et le site Internet (ungfr.org) et la vidéo (vimeo.com/89695290) du GGRF (Global Geodetic Reference Frame).

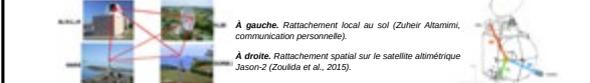


Les erreurs de l'ITRF rentrent dans les budgets d'erreur des niveaux des mers calculés par altimétrie satellitaire et avec les enregistrements des marégraphes. Sur la figure de gauche, si la moyenne des différences est négligeable, les différences à haute latitude ne le sont pas et peuvent atteindre des valeurs de $\pm 0,5$ mm/an. Sur la figure de droite, les erreurs peuvent atteindre des valeurs de $\pm 0,6$ mm/an. Avec les mêmes erreurs pour les pentes de l'origine et un erreur supplémentaire de $0,3$ mm/an sur la pente de l'échelle, Wöppelmann & Marcos (2016) ont estimé une incertitude de $0,5$ mm/an sur le niveau moyen global des mers ainsi déterminé. Santamaría-Gómez et al. (2017) ont évalué à $\pm 0,2$ mm/an la part de l'erreur sur la montée de ce niveau moyen global liée à l'ITRF, avec des erreurs sur les variations régionales pouvant atteindre des valeurs égales à $\pm 0,4$ mm/an (cf. Table 1 de l'article).

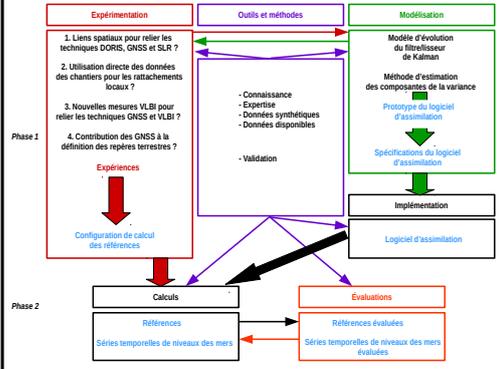
Les erreurs de l'ITRF rentrent également dans les budgets d'erreur des indicateurs climatiques déterminés à partir des niveaux des mers. En effet, Blazquez et al. (2018) ont par exemple montré que les incertitudes sur les corrections du mouvement du géocentre (origine de l'ITRF) et du rebond postglaciaire dans les données GRACE dominaient les incertitudes des bilans d'eau globaux estimés avec ces données. Ces bilans peuvent être utilisés pour les bilans du niveau des mers et pour estimer le contenu en chaleur des océans et le déséquilibre énergétique terrestre.

Objectifs et verrous scientifiques

- Les objectifs du projet GEODESIE sont les suivants :
- Démontrer tout le potentiel des combinaisons directes de mesures spatiales (COL) pour calculer les références géodésiques, indispensables pour relever les défis en observation de la Terre, en prenant en compte toutes les données disponibles depuis l'avènement de l'ère spatiale et tous les liens possibles entre les quatre techniques de géodésie spatiale (GNSS, DORIS, LLL-SLR et VLBI), dans le cadre d'une assimilation de données spécifique.
 - Fournir les références calculées aux communautés de recherche en géophysique, océanographie et climat.
 - Fournir de même des séries temporelles de niveaux des mers géocentriques, calculées avec des données altimétriques et des enregistrements de marégraphes avec ces références.
 - Renforcer l'équipe (et, par extension, le GRGS) dans sa position de leader mondial sur les COL.
 - Préparer la possible arrivée future en orbite de missions spatiales telles que GRASP et E-GRASP.
- Les verrous à lever durant le projet sont les suivants :
- Données spatiales. Toutes les données spatiales disponibles depuis le début des années 1980. Standards et modèles requis sur l'ensemble de la période.
 - Liens entre techniques et définition des repères. Utilisation des liens spatiaux sur les satellites multi-techniques. Utilisation directe des données des chantiers topométriques traités pour calculer les rattachements locaux. Utilisation des nouveaux types de mesures VLBI/GNSS. Possible contribution des GNSS à la définition des repères terrestres.
 - Assimilation de données. Méthode ? Modèle d'évolution stochastique ? Pondération des données ?
 - Évaluation des références. Validation de tous les choix techniques et scientifiques par des simulations. Évaluation complète des références calculées avec des données et des modèles externes.



Organisation



Divers

GEODESIE est un sigle anglais qui signifie *GE*odetic *D*ata *a*ssimilation and *E*stimation of *r*eferences for *c*limate *c*hange *i*nvEstigation.
Le projet GEODESIE est le projet ANR-16-CE01-0001. Vous pouvez consulter la page www.agence-nationale-recherche.fr/Projet-ANR-16-CE01-0001.
Vous pouvez également consulter le site Internet du projet à l'adresse geodesie-anr.ign.fr et suivre le projet sur Twitter (compte @GEODESIE_ANR).

Données du projet et données futures



Le projet GEODESIE n'aurait pas pu voir le jour sans les avancées majeures que la géodésie doit à notre collègue et ami Richard Biancale, qui nous a quittés beaucoup trop tôt. Son expertise scientifique très pointue, son dynamisme à nul autre pareil, sa joie de vivre et sa grande humanité étaient grandement appréciés au sein de l'équipe et bien au-delà. Nous lui devons beaucoup et il nous manque énormément.



Significations climatique et eustatique des phases d'éolianisation holocènes et leur impact socio-économique en Tunisie méridionale



A. Essid^{1*}, M. Ouaja², K. Regaya¹, M. Mansoura³ et J.-Y. Reynaud⁴



Université de Lille

¹Unité de recherche Géomatique des Géosystèmes, Tunisie (*amira1essid@gmail.com)

² Faculté des Sciences de Gabès, Université de Gabès, Tunisie

³ Direction de la Géologie, Office National des Mines.

⁴ Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences-UMR8187 LOG, Université de Lille

La Jeffara maritime, dans le Sud-est de la Tunisie, couvre la zone de transition entre le plateau du Dahar qui débute la Plateforme saharienne et le domaine littoral du Golfe de Gabès. Elle correspond à une vaste plaine soumise à l'influence du climat désertique venant de l'Ouest et à celle du climat méditerranéen venant de l'Est. Grâce à cette situation géographique, la Jeffara constitue un lieu privilégié pour suivre les changements climatiques et eustatiques au cours du Quaternaire et étudier leur signature sédimentaire. Elle peut servir de modèle grandeur nature pour bien comprendre l'impacte des ces variations sur l'évolution des paysages dans la rive sud de la Méditerranée et pour mieux gérer les aléa naturels dont ils peuvent être les conséquences.



Less péridésertiques du Pléistocène supérieur aux environs de Matmata (Oued Erhil)



Accumulation de sables éoliens de Pléistocène supérieur à Oued Dam Jasser

L'étude des terrasses, qui s'emboîtent dans les vallées des nombreux oueds qui traversent la plaine de la Jeffara reliant les monts de Matmata au Golfe de Gabès, a permis une analyse fine des faciès sédimentaires du Quaternaire continental et margino-littoral et la distinction d'importantes accumulations éoliennes intercalées dans ces faciès. Les phénomènes d'éolianisation, aux quels nous avons accordé une attention particulière, sont à l'origine des sols favorables à l'oléiculture qui constitue l'une des plus importantes activités socio-économiques et la principale richesse naturelle du SE de la Tunisie.

Dynamique et paramètres de contrôle sédimentaires:

la dynamique de sédimentation, dans la Jeffara maritime, est marquée par un phénomène d'érosion et de creusement puis dépôt et comblement de vallées. Cette dynamique suppose une variation cyclique de l'accommodation par la création et la suppression d'espace disponible à la sédimentation. Intimement liée à la position du niveau de base, la variation de l'accommodation dans ce domaine de plaine côtière indique une variation du niveau piézométrique.

L'évolution vers des conditions plus humides a pour conséquence une élévation de la nappe phréatique et la construction de récurrences sableuses dans l'enregistrement sédimentaire au cours des hausses du niveau relatif de la mer.

Inversement, l'évolution vers des conditions plus arides entraîne la baisse des nappes phréatiques, la destruction, au cours des chutes du niveau relatif de la mer, de l'enregistrement sédimentaire et la mobilisation éolienne des dépôts précédemment stabilisés.



Accumulation de sables éoliens de l'Holocène supérieur à Oued el Mdou



Accumulation de sables éoliens de l'Holocène supérieur dans la plaine côtière de Limba

Au moins trois séquences climatiques ont pu être identifiées. Ces séquences sont constituées de la superposition de sédiments hétérogènes d'origine fluvio-lacustre et des sables fins homogènes mobilisés et déposés par des vents principalement marins. La baie de Boughrara, au niveau des embouchures des oueds el Fjé et Esmar peut constituer un modèle actuel de ce système sédimentaire.



Impacts socio-économiques : après l'optimum climatique holocène, 6000 ans BP; la deuxième phase d'éolianisation a largement ensablé les franges littorales de la côte tunisienne et plus particulièrement de la Jeffara maritime. Ce sont ces mêmes phénomènes, contre lesquels luttent actuellement les paysans, qui sont à l'origine des sols sableux à texture fine favorables à l'oléiculture et sans lesquels les plaines bordières de la côte du Sud-est tunisien et du Sahel n'auraient pas développées les oliveraies qui constituent, depuis l'antiquité, l'une des principales richesses de la Tunisie et un important patrimoine agricole et socio-économique.



Ensemblement de l'oliveraie de Zarzis

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



HADDAD Mahdi, TAIBI Hebib

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



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

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

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

Données utilisées

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

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



Fig. 1. Distribution géographique des 18 stations marégraphiques

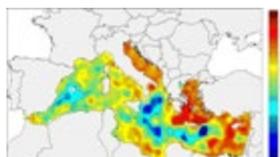


Fig. 2. Taux de variations du niveau de la Méditerranée 1993-2015 (mm/an)

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

Résultats de l'analyse

☞ Analyse des données marégraphiques

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

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

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

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

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

PSMSL Pays / Station	Station	Statistique de MK S	Vir S	Valeur p du test	Hypothèse nulle (H_0)	Risque de rejeter l'hypothèse nulle alors qu'elle est vraie (en %)	Sens de la tendance
220/021	Tarifa	1367.000	16657.000	< 0.0001	rejetée	<0.01	+
220/032	Malaga II	737.000	16505.667	< 0.0001	rejetée	<0.01	+
220/061	Barcelona	1421.000	15316.333	< 0.0001	rejetée	<0.01	+
220/081	L'Estartit	1081.000	17191.000	< 0.001	rejetée	<0.01	+
230/021	Sete	691.000	9896.333	< 0.001	rejetée	<0.01	+
230/051	Marseille	771.000	11605.667	< 0.001	rejetée	<0.01	+
230/061	Toulon	791.000	14379.667	< 0.001	rejetée	<0.01	+
230/081	Nice	625.000	9709.000	< 0.001	rejetée	<0.01	+
265/001	Marsaxlokk	74.000	9616.667	0.4505	Non rejetée	45.05	+
290/001	Preveza	935.000	11518.333	< 0.001	rejetée	<0.01	+
290/004	Lekvas	1341.000	12489.667	< 0.001	rejetée	<0.01	+
290/017	Katakolon	1121.000	12219.667	< 0.001	rejetée	<0.01	+
290/021	Kalamai	617.000	9137.000	< 0.001	rejetée	<0.01	+
290/031	Piraeus	894.000	10548.667	< 0.001	rejetée	<0.01	+
290/71	Khios	395.000	10311.667	0.000	rejetée	<0.01	+
290/081	Siros	566.000	11147.333	< 0.001	rejetée	<0.01	+
290/091	Leros	355.000	13347.667	< 0.002	rejetée	<0.21	+
340/001	Ceuta	729.000	16492.333	< 0.001	rejetée	<0.01	+

☞ Comparaison entre les données in situ et satellitaires

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

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

PSMSL Pays / Station	Station	Latitude (°)	Longitude (°)	Marégraphie (mm/an)	VLM (mm/an)	Marégraphie (corrigé de l'effet VLM) (mm/an)	Altimétrie (mm/an)	Différence (mm/an)
220/021	Tarifa	36.008600	-5.602600	4.65	-0.27	4.92	2.35	2.57
220/032	Malaga II	36.711840	-4.417090	2.20	-0.21	2.41	3.37	-0.96
220/061	Barcelona	41.341770	2.165700	6.36	-0.37	6.73	2.74	3.99
220/081	L'Estartit	42.050000	3.200000	3.83	-0.39	4.22	2.80	1.42
230/021	Sete	43.397598	3.699100	4.72	-0.20	4.92	2.91	2.01
230/051	Marseille	43.278801	5.353860	3.82	-0.32	4.14	3.26	0.88
230/061	Toulon	43.112898	5.914720	3.28	-0.39	3.67	3.09	0.58
230/081	Nice	43.695999	7.285500	3.26	-0.29	3.55	2.43	1.12
290/001	Preveza	38.959078	20.756628	6.02	-0.13	6.15	2.85	3.30
290/004	Lekvas	38.834544	20.712108	8.57	-0.15	8.72	3.15	5.57
290/017	Katakolon	37.644822	21.319681	5.68	-0.24	5.92	3.59	2.33
290/021	Kalamai	37.023678	22.115839	4.21	-0.28	4.49	3.52	0.97
290/031	Piraeus	37.937328	23.626714	7.24	-0.15	7.39	5.24	2.15
290/71	Khios	38.371514	26.141189	2.78	-0.09	2.87	3.92	-1.05
290/081	Siros	37.439969	24.945808	3.67	-0.23	3.90	4.59	-0.69
290/091	Leros	37.129675	26.847994	1.32	-0.16	1.48	4.37	-2.89
340/001	Ceuta	35.892400	-5.315890	1.63	-0.26	1.89	2.38	-0.49

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

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

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

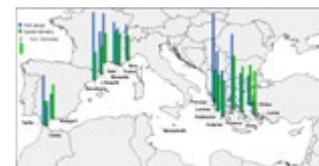


Fig.3. Représentation géographique des tendances estimées à partir des mesures de marégraphie et d'altimétrie spatiale (1993-2015).

Conclusions

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

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

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

Etude des Marées sur les Côtes béninoises de 2011 à 2017

HOUNGUE Guy Hervé^{1,2}, SOHOU Zacharie^{1,2}, OKPEITCHA O. Victor^{1,2}, DEGBE Georges¹ & ADJE Christian¹

¹Institut de Recherches Halieutiques et Océanologiques du Bénin (IRHOB/CBRSI);

²Faculté des Sciences et Techniques de l'Université d'Abomey-Calavi (FAST/UAC);

Introduction

La marée océanique d'origine astronomique, est la variation du niveau de la mer due à l'action gravitationnelle de la Lune et du Soleil. C'est un phénomène ondulatoire, due au mouvement relatif apparent de ces corps célestes (Lune et Soleil) par rapport à la Terre qui, combiné à la rotation de cette dernière sur elle-même, génère des forces d'attraction gravitationnelle périodiques entraînant un déplacement rigoureusement périodique des masses d'eaux océaniques. L'un des buts principaux de l'étude des marées est la recherche des relations existant entre le mouvement des astres et la réponse des océans à l'action de ces forces gravitationnelles afin d'établir des formules de prédiction, utile pour la navigation, l'hydrographie, les aménagements portuaires, les études climatiques, ... On distingue quatre types de marée : les marées semi-diurnes, les marées diurnes, les marées semi-diurnes à inégalité diurne et les marées mixtes. Sur les côtes béninoises, on observe seulement les marées semi-diurnes. L'objectif de ce travail, est d'analyser la marée sur les côtes du Bénin à partir de l'enregistrement du marégraphe (TG) entre 2011 et 2017.

1. Caractérisation de la Marée

La marée peut être caractérisée en fonction de son marnage moyen défini comme la différence entre la hauteur de la pleine mer et celle de la basse mer (Tab. 1) ou par l'importance relative (F) des constituants diurnes par rapport à celle des constituants semi-diurnes (Tab.2).

Tab. 1: Influence tidale obtenue par rapport au marnage moyen.

Influence tidale	Marnage moyen
Microtidal	< 2
Mésotidal	> 2
Macrotidal	> 4

2.2. Données utilisées

Les données de marée utilisées proviennent d'un marégraphe (STS PFM/N/RS 485) positionné à 75 cm sous le niveau du zéro hydrographique situé dans l'enceinte du port au point 6°20'928"N et 2°25'893"E. Le capteur utilisé a enregistré toutes les 05 minutes à la fréquence de 1Hz la hauteur de l'eau. Les données couvrent la période la période juin 2011 à juin 2018 (7 ans).

3.2. Analyse des constituants de marée

L'analyse des caractéristiques des différents constituants issus de l'analyse harmonique de marée pour les 7 ans d'enregistrement indiquent que les constituants diurnes K2, M2, R2, S2, ... sont ceux ayant les amplitudes de marée les plus importantes devant celles des constituants semi-diurnes K1, O1, P1, ... (Fig. 3)

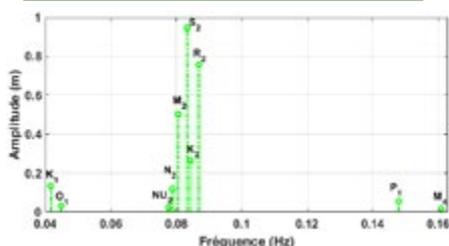


Fig. 3: Caractéristiques de quelques constituants de marée pour les 7 ans d'enregistrement du marégraphe TG

Discussion & Conclusion

L'installation du marégraphe au Port Autonome de Cotonou (Bénin), a permis depuis 2011 de suivre l'évolution du niveau de la mer dans la zone côtière du pays. Les données issues des sept années d'enregistrement du niveau d'eau par le marégraphe, ont permis de confirmer les caractéristiques de la marée observées sur les côtes béninoises. Ce dispositif doit être maintenu, pour les études climatiques futures notamment l'augmentation relative des niveaux des mers et océans.

Références

[1] Rich P., Bob B. and Steve L. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T TIDE 2002 Computers & Geosciences 28 (2002) 929-937

Tab. 2: Les différents types de marée obtenus par l'importance relative des constituants diurnes par rapport à celle des constituants semi-diurnes

Type de marée	$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2}$
Semi-diurne	< 0.25
semi-diurne à inégalité diurne	< 1.5
Mixte	< 3
Diurne	≥ 3

2.3. Comparaison Marée SHOM et marée mesurée par TG

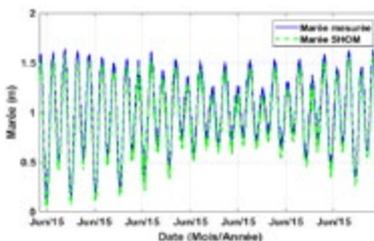


Fig 2: Comparaison de la marée mesurée (marégraphe) en trait plein avec la marée (SHOM) en pointillé.

La marée SHOM sous-estime celle mesurée par le marégraphe TG. Un décalage de 0,182m est observé entre les deux signaux.

3.3. Caractéristiques de la marée sur les côtes du Bénin

Le marnage moyen obtenu de l'analyse des sept (7) années d'enregistrement de données par le marégraphe TG est estimé à 1,28m. De cette valeur, on déduit l'influence tidale sur les côtes béninoises qui est celle d'une marée microtidale (marnage inférieur à 2 m). Aussi, le nombre de F, à partir des amplitudes de marée issues de la série indique une valeur moyenne de F=0,145, indiquant que la marée est de type semi-diurne. En somme, la marée sur les côtes béninoises est de type Semi-diurne et microtidale.

Avec les données issues du marégraphe (constituants de la marée, Tab. 3), la marée a été prédite sur 35 jours dans la zone côtière du Bénin (Fig. 4). Ceci permettra une calibration de la marée à partir du marégraphe, pour une prédiction long terme.

Fig. 4 : Marée prédite par analyse harmonique à partir des constituants déduits des sept années de données du marégraphe du Port Autonome de Cotonou, Bénin

Remerciements au Port Autonome de Cotonou (PAC) pour la mise à disposition des données du marégraphe TG

Mail répondant: zschou@yahoo.fr / zschou@gmail.com

2. Matériel et Méthodes

2.1. Zone d'étude



Fig. 1: Zone d'étude. Zone portuaire (Port Autonome de Cotonou, Bénin) avec la position du marégraphe (TG) dans l'enceinte du port et celle de la station d'acquisition.

3. Résultats et analyses

3.1. Constituants de marée

Le signal de marée peut être modélisé par:

$$\Psi_n = \sum_n A_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T_n} + \theta_n\right) \quad (1) \text{ avec } A_n, T_n \text{ et } \theta_n$$

(respectivement, l'amplitude, la période et la phase de chaque constituant de marée.) et permettre d'estimer la hauteur de marée à n'importe quel moment, présent, passé ou futur, tant que la conformation des côtes n'est pas modifiée significativement.

Tab. 1: Caractéristiques de quelques constituants de marée pour les 7 ans d'enregistrement du marégraphe TG

Constituants de marée	Amplitude	Vitesse	Période
M2	0,5001	28,985	0,520
S2	0,947	30,002	0,502
N2	0,118	28,438	0,528
K1	0,135	15,042	0,999
M4	0,016	57,967	0,261
K2	0,262	30,083	0,501
R2	0,755	30,043	0,500
P1	0,055	14,958	1,002
O1	0,031	13,944	1,078
NU2	0,022	28,513	0,526

3.4. Prédiction de la marée sur les côtes béninoises

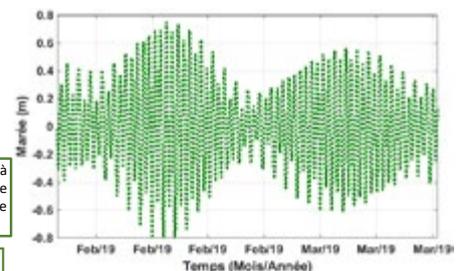


Fig. 4: Prédiction à partir des données du marégraphe TG



Amélioration de la caractérisation des performances des marégraphes lors de campagnes d'inter-comparaison

Kevin Gobron^a, Olivier de Viron^a, Guy Woppelmann^a, Etienne Poirier^a, Michel Van Camp^b

^a: Littoral Environnement et Sociétés (LIENSs), La Rochelle, France
^b: Observatoire Royal de Belgique (ROB), Uclde, Belgique

Contact : kevin.gobron1@univ-lr.fr



Étalonnage de marégraphes

Étudier les changements du niveau marin à la côte nécessite des séries marégraphiques de haute qualité métrologique. Pour assurer la précision et l'exactitude des données issues des réseaux de marégraphes, des campagnes de calibrations in-situ sont régulièrement menées. Les protocoles d'étalonnage actuels reposent sur la comparaison de paires d'instruments, notamment par l'utilisation du diagramme de Van de Casteele. Or, si ces protocoles permettent bien d'estimer des biais systématiques, ils ne peuvent néanmoins pas estimer l'incertitude des instruments.

Dans cette étude, nous montrons qu'en combinant les mesures d'au moins 3 instruments, il est possible d'obtenir à la fois une meilleure estimation des biais mais aussi une estimation des incertitudes des instruments.

Erreurs fréquentes sur les hauteurs d'eau

Erreur = Biais (déterministe) + Bruit (aléatoire)

• **De-synchronisation** : un biais de l'horloge du marégraphe. Ce biais est corrigé en amont en estimant le biais d'horloge qui maximise la fonction d'inter-correlation entre le signal mesuré et celui d'un marégraphe de référence.

• **Décalage constant** : un biais indépendant de la hauteur d'eau.
• **Erreur d'échelle** : un biais proportionnel à hauteur d'eau calculée $H_i(t)$.

En présence d'un décalage constant et/ou d'une erreur d'échelle, on peut utiliser le modèle linéaire de biais suivant :

$$B_i(t) = \alpha_i + \beta_i H_i(t) \text{ où } \alpha_i \text{ et } \beta_i \text{ sont des paramètres de biais à estimer}$$

• **Bruit** : erreur aléatoire, modélisée par une loi gaussienne :

$$N(0, \sigma_i) \text{ où } \sigma_i \text{ est l'incertitude de l'instrument « i » qui est aussi à estimer}$$

Méthode proposée : la combinaison de données

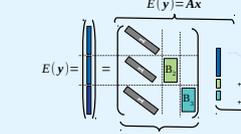
Lorsque 3 instruments sont co-localisés, ils mesurent la même réalité physique. On choisit alors de combiner toutes les observations disponibles pour estimer un signal commun, c'est à dire une solution combinée.

1 – Pour cela, on commence par définir un vecteur d'observation y , constitué des mesures de tous les instruments.

2 – Ensuite, on lie les observations y à la solution combinée, en tenant compte des paramètres de biais et aux précisions des instruments grâce aux modèles fonctionnels et stochastiques suivants :

Modèle fonctionnel

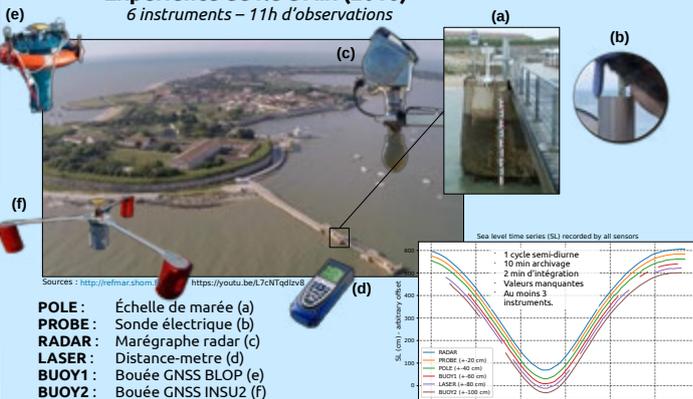
$$E(y) = Ax$$



3 – Enfin, on estime la solution combinée, les paramètres de biais α_i et β_i et les incertitudes σ_i par l'utilisation conjointe de la méthode des moindres carrés et de la méthode d'estimation des composantes de la variance par moindres carrés [1].

Expérience de île d'Aix (2016)

6 instruments – 11h d'observations



- POLE : Échelle de marée (a)
- PROBE : Sonde électrique (b)
- RADAR : Marégraphe radar (c)
- LASER : Distance-mètre (d)
- BUOY1 : Bouée GNSS BLOP (e)
- BUOY2 : Bouée GNSS INSU2 (f)

Un étalonnage plus complet

La méthode proposée a été appliquée à l'expérience d'inter-comparaison de l'île d'Aix (2016)

Pour assurer l'unicité de la solution, on a imposé un offset nul et une erreur d'échelle nulle pour la sonde PROBE. Ainsi, la solution combinée, les paramètres de biais α_i et β_i et les incertitudes σ_i de tous les instruments ont pu être estimés :

	α_i (cm)	β_i (cm/m)	σ_i (cm)
PROBE			0.31 +/- 0.10
MCN	-1.87 +/- 0.30	0.52 +/- 0.07	0.81 +/- 0.08
RADAR	0.13 +/- 0.39	-0.32 +/- 0.09	1.23 +/- 0.12
BUOY1	-4.30 +/- 0.41	0.00 +/- 0.11	1.25 +/- 0.14
LASER	-3.42 +/- 0.35	0.13 +/- 0.08	0.90 +/- 0.10
BUOY2	-3.52 +/- 0.30	0.17 +/- 0.07	0.74 +/- 0.09

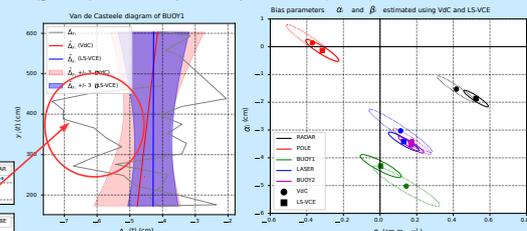
L'analyse des résidus suggère que la différence de précision entre les bouées GNSS BUOY1 et BUOY2 est surtout causée par une perturbation des mesures de BUOY1 entre 7:45 et 9:45.

Un étalonnage plus précis

Les résultats de la méthode proposée ont été comparés à ceux d'une méthode par comparaison.

Contrairement à la méthode proposée, la méthode par comparaison testée, qui consistait à ajuster le modèle de biais sur les écarts avec la sonde électrique (PROBE), n'a pas pu tirer profit de la redondance d'information apportée par tous les instruments déployés simultanément. En particulier, lorsque la sonde n'a pas d'observations, entre 10:00 et 12:10, les observations des autres instruments ne pouvaient pas être pris en compte, faute d'instrument de référence. Ce n'est pas le cas pour la méthode par combinaison qui a cherché à "confronter" toutes les observations disponibles, même lorsque la sonde ne mesurait plus. De plus, la méthode proposée a aussi permis de pondérer les mesures de tous les instruments en fonction de leurs précisions.

Ces 2 particularités ont entraîné une réduction de 30% à 55% des incertitudes sur les paramètres de biais. C'est particulièrement visible via les intervalles de confiance sur le diagramme de Van de Casteele (gauche) et dans l'espace des paramètres (droite) ci-dessus :



Conclusions & Perspectives

- La méthode par combinaison proposée se montre plus adaptée à l'exploitation des campagnes d'inter-comparaison que la méthode par comparaison.
- Il est dorénavant possible de mieux caractériser les performances des marégraphes par l'estimation conjointe des paramètres de biais et des incertitudes des instruments.
- La meilleure prise en compte des observations disponibles peut conduire à un étalonnage plus précis : ici la précision des résultats a été améliorée de 30% à 55%.
- La méthode proposée étant flexible, elle est potentiellement adaptable à d'autres types d'instruments et à d'autres types de biais et/ou de bruit.

Reference :

[1] Teunissen, P. J. G. and Amiri-Simkooei, A. R. (2008). Least-squares variance component estimation. Journal of Geodesy, 82(2):65–82.

Remerciements :

La thèse de Kevin Gobron est co-financée par la région Nouvelle Aquitaine et par la Direction Générale de l'Armement (DGA). L'expérience de l'île d'Aix (2016) a été menée par Laurent Testut (CNAP-LEGOS), Valérie Ballu (CNRS-LIENSs), Méric Gravelle (CNRS-LIENSs), Alvaro Santamaria-Gomez (CNAP-OMP), Mikael Guichard (ULR-LIENSs), Elizabeth Prouteau (CNRS-LIENSs), Pierre Chasseloup (SONEL-LIENSs), Cyril Poitevin (LIENSs), Fabien Durand (IRD-LEGOS), Ronan Le Gall (SHOM) et Pascal Le Du (SHOM).





Météo-Algérie



Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. USTHB. Alger. Algérie



Proposition d'une nouvelle échelle de marée circulaire sèche*

Yacine Hemdane,¹ Chawki Zerrouki,¹ Bachir Hamadaché² et Mohamed Bouhmadouche¹

¹Laboratoire Géo-Environnement. FSTGAT. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. USTHB. Alger. Algérie
²Météo-Algérie. Dar El Beida. Alger. Algérie
Email: yacinehemdane@gmail.com

Echelle de marée

L'échelle de marée (ou le limnimètre) est l'instrument de référence dans la mesure du niveau de la mer. Dans un document publié par la COI (Commission Océanographique Intergouvernemental de l'UNESCO) en 2016, l'échelle de marée est présentée comme l'instrument le plus proche d'un marégraphe idéal où les mesures, par temps calme, du niveau de la mer peuvent être effectuées à l'œil nu. Celle-ci permet l'étalement et le contrôle par comparaison avec les hauteurs mesurées par d'autres systèmes de mesures (Refmar2012).

Bien que l'échelle de marée soit l'instrument de référence dans la mesure et la vérification du niveau de la mer, elle présente toutefois certains désavantages, notamment en ce qui concerne:

- La difficulté de lire les niveaux de l'eau en situations d'agitation ou des moyennes de niveaux d'eau approximatives sont difficilement estimées (présence de vagues).
- Son emplacement dans la partie inférieure du quai rend difficile la lecture des niveaux de l'eau (l'observateur doit se pencher pour voir l'échelle).
- Son exposition continue au biofouling rend illisible les graduations de l'échelle, nécessitant ainsi un entretien régulier.
- La nécessité d'installer une échelle (escalier) à côté de l'échelle de marée pour lui accéder lors des travaux d'entretien.

✓ Echelle apparente (sur le quai)

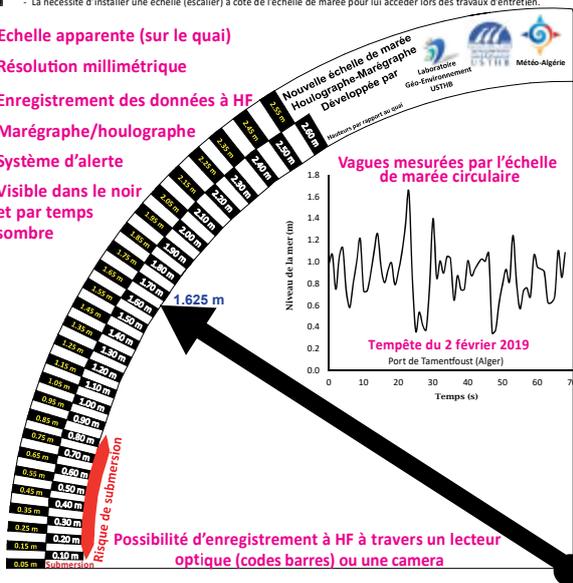
✓ Résolution millimétrique

✓ Enregistrement des données à HF

✓ Marégraphe/houlographe

✓ Système d'alerte

✓ Visible dans le noir et par temps sombre



Premier prototype de l'échelle de marée circulaire installée au port de Tamentfoust (Alger)



Echelle de marée circulaire sèche

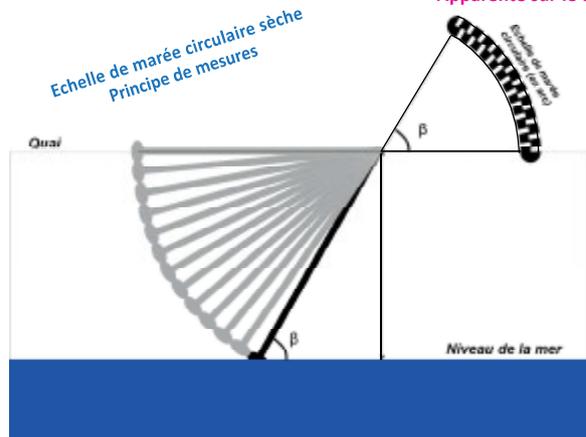
L'échelle de marée circulaire (en arc) proposée est un instrument d'observation du niveau de la mer apportant des solutions aux inconvénients de l'échelle de marée classique voire des systèmes de mesures du niveau de la mer modernes.

Cette nouvelle échelle de marée (circulaire) est installée obliquement sur un quai et se caractérise par son apparence sur le quai. De ce fait, les niveaux de la mer sont lus très facilement par l'observateur. Le mouvement du niveau de la mer est détecté par un capteur (flotteur), fluctuant obliquement en suivant les oscillations du niveau de la mer et reproduisant le même mouvement sur la partie aérienne (sèche) de l'instrument. Les angles produits donnent ainsi directement les niveaux de l'eau grâce à une aiguille d'indication de niveaux.

Avantages

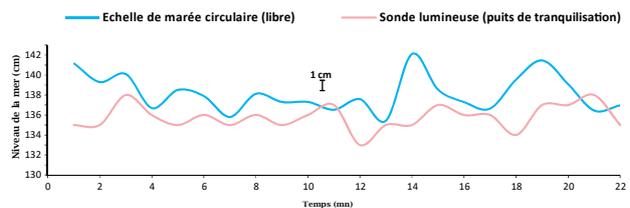
- Apparente sur le quai et facilement lisible
- Echelle en dehors de l'eau (suppression du problème de biofouling gênant l'échelle de marée classique)
- Résolution millimétrique
- Marégraphe et houlographe enregistreur
- Visible pendant la nuit et par temps sombre grâce à un système lumineux intégré
- Faible coût
- Pouvant servir comme appareil d'alerte (seuils d'alerte)
- Pouvant être installée dans des rivières pour la surveillance des crues d'inondations

Echelle de marée et Marégraphe HF



Apparente sur le quai

Comparaison entre les enregistrements issus de l'échelle de marée circulaire et d'une sonde lumineuse Port de Tamentfoust (14 février 2019)



(*) Invention protégée par une demande de protection par Brevet (Laboratoire Géo-Environnement. USTHB/Météo-Algérie). Hemdane, Y (2019). Echelle de marée (limnimètre) circulaire (en arc) à lecture directe et automatique des mouvements de hautes fréquences du niveau de la mer. INAPI. N° 190089.

Refmar 2012. http://refmar.shom.fr/documents/10227/106227/FT-REFMAR_01-Installation+echelle+de+marree.pdf
IOC Manuals and Guides No.14, Vol.5 Volume 5: Radar Gauges (2016), Manual on Sea Level Measurement and Interpretation



Création de DOI sur un jeu de données

E. Prouteau¹, P. Téchiné², R. Lhuillier³, N. Pouvreau²
LIENSs¹ (Université de la Rochelle – CNRS), La Rochelle, France
LEGOS/OMP², Toulouse, France
SHOM³, Brest, France



Digital Object Identifier (DOI)

Un DOI est un identifiant numérique unique attribué de manière pérenne à un objet : Publication, jeu de données, rapport, documentation, etc. Il permet d'en augmenter la visibilité et d'en pérenniser la traçabilité à un niveau international.

Qui délivre les DOI ?

En France, l'INIST (Institut de l'Information Scientifique et Technique, <http://www.inist.fr>) du CNRS est habilité à délivrer des DOI. Il est membre du Consortium international DataCite (<https://www.datacite.org>) qui opère comme agence d'enregistrement des DOI. L'INIST peut aussi passer un contrat avec toute entité pour lui déléguer la possibilité de créer des DOI. Il lui attribue alors un préfixe unique de la forme 10.XXXX qui est la racine commune à tous les DOI de cette entité.

Pour 180 € HT/an, l'attribution de ce préfixe permet de poser un nombre illimité de DOI.

ID	Property	Obligation
1	Identifier (with mandatory type sub-property)	M
2	Creator (with optional given name, family name, name identifier and affiliation sub-properties)	M
3	Title (with optional type sub-properties)	M
4	Publisher	M
5	Publication Year	M
10	Resource Type (with mandatory general type description sub-property)	M

Figure 1. Propriétés obligatoires (M = Mandatory)

ID	Property	Obligation
6	Subject (with scheme sub-property)	R
7	Contributor (with optional given name, family name, name identifier and affiliation sub-properties)	R
8	Date (with type sub-property)	R
9	Language	O
11	Alternate Identifier (with type sub-property)	O
12	Related Identifier (with type and relation type sub-properties)	R
13	Size	O
14	Format	O
15	Version	O
16	Rights	O
17	Description (with type sub-property)	R
18	Geolocation (with point, box and polygon sub-properties)	R
19	Funding Reference (with name, identifier, and award related sub-properties)	O

Figure 2. Propriétés recommandées (R) ou optionnelles (O)

Poser un DOI sur des données

Pour poser un DOI sur un jeu de données, il faut trois conditions :

- Un nom de DOI, formé d'un suffixe unique (à choisir) placé directement sous le préfixe, exemple : **10.17183 / REFMAR**
- Remplir un fichier de métadonnées au format XML contenant 6 propriétés obligatoires (figure 1) et d'autres recommandées ou optionnelles (figure 2), en se référant au schéma de métadonnées de DataCite.
- Créer une landing page qui contient un descriptif des données et une URL stable pour accéder aux données. Dans la description des données, on peut ajouter des figures, préciser les conditions d'accès aux données, la façon de citer les données, etc.

Le format de citation du jeu de données sera du type : **Creator (PublicationYear): Title. Publisher. (resourceTypeGeneral). Identifier**

Le lien vers la landing page est visible sur le site web de DataCite. Le DOI n'est pas modifiable mais il est possible de modifier la landing page et les informations qu'elle contient.



Figure 3. Extrait des métadonnées REFMAR

Exemple pour REFMAR

Le DOI **10.17183/REFMAR** (<https://dx.doi.org/10.17183/REFMAR>) renvoie vers la page d'accueil qui permet d'accéder à l'ensemble des observations marégraphiques (figures 3 et 4).
Le « doi: 10.17183/REFMAR#152 » (ou <https://dx.doi.org/10.17183/REFMAR#152>) redirige vers la page des observations réalisées par le marégraphe du Conquet. Le préfixe 10.17183 correspond au SHOM. Dans le suffixe, #152 correspond au numéro du marégraphe. Ce numéro est unique.



Figure 4. <https://dx.doi.org/10.17183/REFMAR>

Que faire si les données évoluent ?

A chaque mise à jour ou correction dans les données, il est possible :

- Soit de créer un nouveau DOI.
- Soit d'actualiser les propriétés recommandées ou optionnelles du DOI existant, par exemple *Date (8.)*, *Version (15.)*, *Description (17.)*. Comme il faut pouvoir retrouver l'état du jeu de données utilisé dans les publications, il faut en archiver les différentes versions. Ce procédé peut être bien adapté pour de petits volumes de données qui ne changent pas trop souvent.

Les obligations quand on a posé un DOI

- Les données référencées par le DOI doivent être toujours disponibles et accessibles.
- La landing page doit être maintenue et accessible.

Conclusion

Attribuer un DOI à un jeu de données permet d'augmenter sa visibilité. Toute personne utilisant des données doit en citer la source et le DOI s'il existe. A terme, l'attribution de DOI permettra de mieux évaluer le nombre et la nature des publications utilisant les données. L'origine et la traçabilité des données utilisées dans les publications scientifiques sont par ailleurs de plus en plus demandées par les éditeurs et les reviewers de ces publications.

Lectures complémentaires

- Gestion des DOI sur le site web de l'INIST : <https://opidor.fr/identifier>
- Documentation pour la création de DOI : <https://schema.datacite.org>
- <https://mds.datacite.org>, <https://support.datacite.org/docs/mds-api-guide>,
- Référence du dernier schéma de métadonnées DataCite : DataCite Metadata Working Group. (2017). DataCite Metadata Schema Documentation for the Publication and Citation of Research Data. Version 4.1. DataCite e.V. 10.5438/0014.

SONEL vise à fournir des données de niveau de la mer à partir de mesures marégraphiques et de techniques géodésiques de grande qualité métrologique pour l'étude des tendances à long terme du niveau de la mer. SONEL joue le rôle de centre de données GNSS aux marégraphe pour le programme GLOSS. Une convention avec l'INIST est mise en place (1er trimestre 2019) pour que SONEL puisse créer des DOI, pour l'instant sur ses produits (solutions GNSS ULR6, ...).
Références : <http://www.sonel.org>, Contact : sonel@sonel.org including corresponding author: elizabeth.prouteau@univ-lr.fr

Le Réseau d'Observation Subantarctique et Antarctique du niveau de la Mer

P. Téchiné¹, L. Testut^{1,2}, M. Calzas³, A. Guillot³, C. Guillerm³,
C. Drezen³, C. Brachet³, T. Donat⁴, E. Poirier²
¹ LEGOS/OMP, Toulouse, ² LIENSs/ULR, La Rochelle,
³ DT/INSU, Plouzané, ⁴ IGN, Saint-Mandé



Présentation du réseau

Le Réseau d'Observation Subantarctique et Antarctique du niveau de la Mer (ROSAME) a été mis en place au début des années 1990. Il est composé de stations marégraphiques côtières implantées sur les Terres Australes et Antarctiques Françaises dans les districts de Kerguelen (à Port-aux-Français depuis 1993), Saint-Paul/Amsterdam (depuis 1994), Crozet (sur l'île de la Possession de 1995 à 2015), tous situés dans le Sud de l'océan Indien (figure 1). Depuis 1997, une station côtière est installée sur le continent antarctique près de la base scientifique française de Dumont d'Urville. Les applications scientifiques concernent principalement l'étude des marées océaniques et des variations du niveau moyen de la mer à long terme, ainsi que la calibration/validation des missions d'altimétrie spatiale. Depuis 2015, ROSAME est intégré au Système d'Observation du Niveau des Eaux Littorales (SONEL), labélisé Service National d'Observation par l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU). Les sites de mesure ROSAME font également partie du programme international GLOSS (Global Sea Level Observing System).

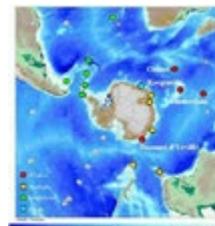


Figure 1. Sites côtiers de mesure (en rouge) des stations marégraphiques du réseau ROSAME.

Figure 2. Site marégraphique côtier de Saint-Paul comportant un tube de tranquillisation avec marégraphes à pression et radar (au centre), une station GNSS permanente (au dessus) et le nouveau marégraphe radar (à gauche).



Paramètres mesurés

Sur chaque site de mesure, les stations marégraphiques se composent d'une centrale automatique d'acquisition développée par la Division Technique (DT) de l'INSU à Plouzané qui pilote les acquisitions des mesures de pression de fond, température et conductivité de l'eau réalisées par un capteur immergé, simultanément à des mesures de pression atmosphérique. Le développement instrumental est très important pour la vie du réseau ROSAME afin de rester à la pointe de la métrologie et des moyens de communication. Le site de Kerguelen est renforcé en 2006 par l'ajout d'une seconde station marégraphique côtière équipée d'un marégraphe à pression et d'un marégraphe radar, permettant de réaliser des mesures à haute fréquence (1 mn). Un second marégraphe radar est installé en 2016. Le site de Kerguelen fait partie du réseau d'alerte aux tsunamis dans l'océan indien. A Dumont d'Urville, des mesures sont également réalisées à haute fréquence (2 mn) depuis 2006. Un second marégraphe (radar) est installé avec succès fin 2018 à Saint-Paul (figure 2). Tous les sites ROSAME sont équipés de stations GNSS afin de mesurer et surveiller la stabilité géodésique des sites de mesure.

Traitement des mesures

Les mesures réalisées par les marégraphes sont enregistrées en mémoire sur chaque site, puis regroupées dans des messages transmis par les systèmes satellite Argos et VSAT au Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales (LEGOS) de l'Observatoire Midi-Pyrénées (OMP) de Toulouse. Chaque jour, environ 200 messages sont reçus en provenance des sites de mesure et déclenchent un logiciel de traitement (figure 3). A partir des mesures transmises, le niveau de la mer est calculé, puis mis à la disposition de la communauté scientifique.



Figure 3. Schéma de fonctionnement du traitement des mesures.

Figure 4. Opération de relevage d'une station marégraphique autonome de plateau à bord du navire Marion-Dufresne.



Missions NIVMER

Chaque année depuis 1986, des stations marégraphiques autonomes sont déployées sur le rebord du plateau continental, puis relevées l'année suivante. Elles permettent de relier les observations faites à la côte aux variations du niveau de la mer au large et de comparer avec les données des satellites altimétriques. Ces opérations de mouillage et relevage des stations de plateau (figure 4) sont réalisées conjointement aux visites de maintenance et de récupération des données stockées en mémoire des stations côtières lors des missions NIVMER (NIVeau de la MER) et d'une rotation du navire Marion Dufresne possible uniquement pendant l'été Austral, avec le soutien de l'Institut Polaire français Paul-Emile Victor (IPEV) et de la DT/INSU.

Quelques exemples récents d'utilisation des données ROSAME

Les mesures du niveau de la mer étant rares dans le Sud de l'océan Indien, celles acquises par les stations marégraphiques ROSAME représentent une contribution significative au programme international GLOSS dont l'un des objectifs principaux est de constituer un réseau de stations permanentes ayant des standards métrologiques élevés pour observer notamment l'évolution à long terme du niveau de la mer. Les données ROSAME sont souvent utilisées dans des études régionales ou globales, permettant de mesurer par exemple, les progrès accomplis dans la compréhension de la cause de l'élévation du niveau de la mer au cours du XXe siècle (Jevrejeva et al., 2017). Vingt-trois années (1993-2015) d'observations côtières mondiales du niveau de la mer (incluant les données ROSAME) ont permis également d'examiner la contribution des processus de surcôtes, marées et vagues à l'élévation à long terme du niveau de la mer (Melet et al., 2018, figure 5). Pour calculer le niveau de la mer sur les sites du réseau ROSAME, la température de surface de l'océan est mesurée. Les mesures de température acquises par le marégraphe de Kerguelen ont servi à l'étude visant à modéliser le bilan de masse de la calotte glaciaire Cook sur les îles Kerguelen (Favier et al., 2016). Un assemblage de données quasi global, contenant des observations à haute fréquence du niveau de la mer, a été mis à jour en 2016. La construction d'un tel ensemble, dont les données ROSAME font partie, est fondamentale pour la recherche scientifique sur la variabilité du niveau de la mer, ainsi que pour les aspects pratiques de l'ingénierie côtière (Woodworth et al., 2016).

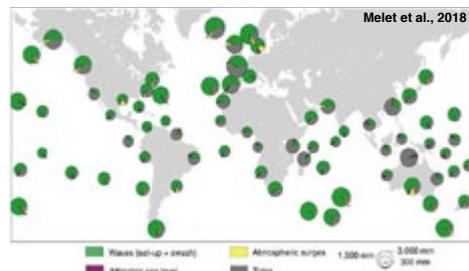


Figure 5. Diagrammes en camembert illustrant la contribution relative des vagues (vert), du niveau de la mer calculé par altimétrie (violette), des surcôtes (jaune) et des marées (gris) aux niveaux extrêmes. La taille des camemberts indique l'amplitude moyenne des événements extrêmes.

Références

- Favier V., D. Verfaillie, E. Berthier, M. Menegoz, V. Jomelli, J. E. Kay, L. Ducret, Y. Malbêteau, D. Brunstein, H. Gallée, Y.-H. Park and V. Rinterknecht. 2016. Atmospheric drying as the main driver of dramatic glacier wastage in the southern Indian Ocean. Scientific Reports, 6, 32396, doi: 10.1038/srep32396
- Jevrejeva S., A. Matthews and A. Slangen. 2017. The Twentieth-Century Sea Level Budget: Recent Progress and Challenges. Surv Geophys, 38, 295-307, doi: 10.1007/s10712-016-9405-z
- Melet A., B. Meysignac, R. Almar and G. Le Cozannet. 2018. Under-estimated wave contribution to coastal sea-level rise. Nature Climate Change, 8, 234-239, doi: 10.1038/s41558-018-0088-y
- Woodworth P. L., J. R. Hunter, M. Marcos, P. Caldwell, M. Menéndez and I. Haigh. 2016. Towards a global higher-frequency sea level dataset. Geoscience Data Journal, 3: 50-59, doi: 10.1002/gdj3.42



<http://www.legos.obs-mip.fr>





Le Réseau d'Observation du Niveau de la Mer

RONIM



www.shom.fr

@shom_fr @Shom.fr @shom_fr



REFMAR

+33 (0) 2 56 312 426
refmar@shom.fr

Adresse postale

13 rue du Chatellier - CS 92803
29228 BREST CEDEX 2 - France

Renseignements

+33 (0) 2 56 312 312

Internet

data.shom.fr
www.shom.fr

Le Shom est certifié sur l'ensemble de ses activités.