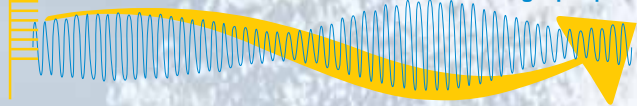


Journées

REFMAR

Réseaux de référence des observations marégraphiques



Recueil des posters

2 - 4 février 2016

à l'UNESCO Paris



Organisation
des Nations Unies
pour l'éducation,
la science et la culture



Commission
océanographique
intergouvernementale

Sommaire

Présentation des objectifs de REFMAR

Équipe REFMAR..... 3

La mesure du niveau de la mer et ses applications

Équipe REFMAR..... 4

État des lieux du réseau d'observation du niveau de la mer en Afrique

A. AMAN..... 5

Archipel : ouverture du patrimoine cartographique du SHOM

Équipe ARCHIPEL..... 6

Traitement et analyse des données marégraphiques - Marégraphe d'Alger

T. BENKOUIDER, A. RAMI, M. NECHIMI..... 7

Les variations du niveau marin durant l'holocène à l'actuel : ex. dans la baie de Bou-Ismaïl (littoral ouest algérois)

L. BENSLAMA..... 8

Contrôler le relèvement du niveau marin : dilation, fonte, massification des eaux

A. BLIM BLIMI 9

Interprétation des variations du niveau marin relatif dans le pacifique tropical durant l'holocène récent

A. BOTELLA, N. HALLMANN, V. POTHIN, G. A. MILNE, G. CAMOIN, C. VELLA,
A. EISENHAUER, E. SAMANKASSOU 10

Hausse du niveau marin en outre-mer français : vers des hypothèses de travail régionalisées ?

A. BOTELLA..... 11

Études des paramètres hydrodynamiques de contrôle de la sédimentation dans l'estuaire du Wuri au Cameroun

Y. G. FOSSI FOTSI, G. R. NKOUE NDOONDO 12

L'apport de l'information historique et régionale pour l'évaluation du risque de submersion sur le littoral Manche et Atlantique

N. GILOY, Y. HAMDI, L. BARDET, C.-M. DULUC, V. REBOUR..... 13

Effets météorologiques sur les mesures de la station marégraphique d'Alger

M. HADDAD, A. AYOUAZ, H. TAIBI 14

Variabilité saisonnière et interannuelle du niveau moyen de la Méditerranée observée par l'altimétrie spatiale

M. HADDAD, H. TAIBI..... 15

Reconstitution des variations du niveau de la mer au cours des 7 derniers millénaires en Polynésie française à partir de l'étude de microatolls coralliens

N. HALLMANN, G. CAMOIN, A. EISENHAUER, C. VELLA, E. SAMANKASSOU,
A. BOTELLA, G. A. MILNE, V. POTHIN, P. DUSSOUILLEZ, J. FLEURY..... 16

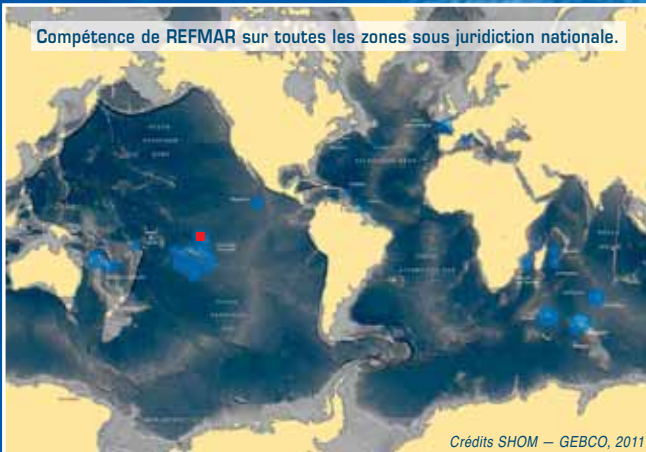
Sea-level rise impact on European shelf tide dynamics <i>D. IDIER, F. PARIS, G. LE COZANNET, F. BOULAHYA</i>	17
Mise au point d'un système de prévision expérimental des inondations marines et fluviales d'origine cyclonique <i>ANR-2014 SPICY : BRGM, ARMINES-LGEI, BRL INGÉNIERIE, LACY, MÉTÉO-FRANCE OCÉAN-INDIEN</i>	18
Impact de niveaux d'eau extrêmes sur deux villes portuaires de la Manche et Mer du Nord : Le Havre et Dunkerque <i>A. MASPATAUD, S. ELINEAU, A. DUPERRÉ, M.-H. RUZ, P. MALLET</i>	19
Contribution de la surcote liée aux vagues dans les niveaux d'eau à la côte en milieu microtidal <i>A. NICOLAE LERMA, S. ELINEAU, F. PARIS, R. PEDREROS</i>	20
Comparing tide gauges and satellite altimetry : errors and uncertainties <i>P. PRANDI, G. VALLADEAU, M. ABLAIN</i>	21
Cross-validation of altimetry and tide gauges measurements of sea surface height <i>P. PRANDI, G. VALLADEAU, M. ABLAIN</i>	22
Réseau d'Observation du Niveau de la Mer du SHOM : RONIM <i>Équipe RONIM</i>	23
Amélioration de la détectabilité des vagues d'un tsunami par le réseau marégraphique au CENALT (Centre d'Alerte aux Tsunamis) <i>P. ROUDIL, F. SCHINDELÉ, A. MONNIER, P. DUPERRAY, A. GAILLER, H. HÉBERT, A. LOEVENBRUCK</i>	24
Vers la mise en place de systèmes nationaux d'observation du littoral au Sénégal <i>L. SAKHO, M. DIARA, S. G. SIBY, M. SALL, M. FALL, B. DIOUF, A. NDOUR, A. KANE, B. A. SY, G. WOPPELMANN, L. TESTUT, E. DUORTE, V. MESNAGE, R. LAFITE</i>	25
La marée sur les côtes Béninoises <i>Z. SOHOU, G. DEGBE, G.H. HOUNGUE, O.V. OKPEITCHA, C. ADJE</i>	26
Suivi du réseau de marégraphe ROSAME <i>P. TÉCHINÉ, B. BUISSON, L. TESTUT</i>	27
ROSAME : 20 ans de résultats scientifiques <i>L. TESTUT, P. TÉCHINÉ, M. CALZAS, C. BRACHET, A. GUILLOT, C. GUILLERM, C. DREZEN</i>	28
Essais de modélisation de la submersion marine des côtes ivoiriennes : cas des zones de Port-Bouet et de Grand-Bassam <i>J. A. TIEMÉLÉ, E. V. DJAGOUA, B. ABAKA MOBIO, J.-B. KASSI, J. MAFFOUÉ KOUADIO, A. KROU KOUAMÉ, C. ZINÉ DRO, K. AFFIAN</i>	29
Impacts des marées de tempête sur la dynamique du littoral ivoirien entre 2007 et 2014 <i>K. S. YAO, K. P. KOFFI, N. P. DANGUI, A. C. HAUHOUOT, J. ABE</i>	30

Le SHOM est le référent national pour le «niveau de la mer» *in situ* sur l'ensemble des zones sous juridiction française. À ce titre, 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.

LES VARIATIONS DU 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 effets météorologiques, les séismes et les mouvements de terrain, le changement climatique.

Compétence de REFMAR sur toutes les zones sous juridiction nationale.



Crédits SHOM – GEBCO, 2011

L'ACCÈS AUX DONNÉES :

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



Le portail Internet relatif aux observations du niveau de la mer regroupe les services de la coordination :

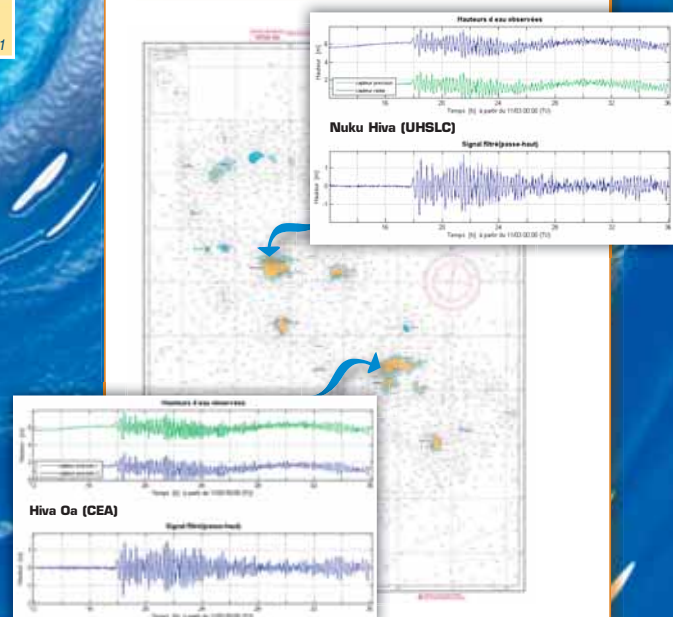
- la visualisation et la mise à disposition gratuite des données (observation, prédiction, surcote/décote), en temps peu différé ;
- la diffusion de nombreuses informations sur les données ;
- les recommandations pour l'acquisition, la qualification et la transmission des données ;
- la promotion des observations non numérisées ;
- les actualités ;
- ...

QUELQUES 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.



EXEMPLE D'EXPLOITATION DE DONNÉES DISPONIBLES SUR REFMAR



Observation du tsunami trans-Pacifique du 11 mars 2011 issu du séisme (magnitude 9.0) survenu au large des côtes nord-est de l'île de Honshū (Japon) par les marégraphes installés aux Marquises (à 9 650 km de l'épicentre). (Carré rouge sur le planisphère)

<http://refmar.shom.fr>



pour tout contact : refmar@shom.fr

REFMAR, sous pilotage du Secrétariat général de la mer

reçoit le soutien de plusieurs ministères

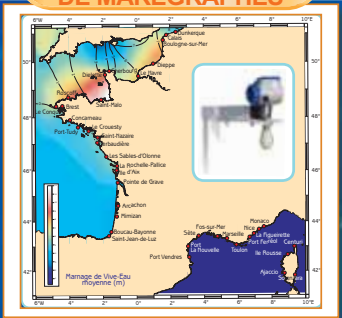


Après plus d'un an de coordination REFMAR donne accès aux observations des organismes suivants :

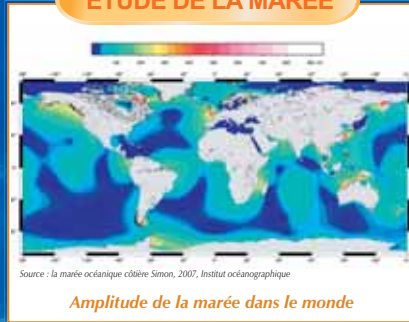


LA MESURE DU NIVEAU DE LA MER ET SES APPLICATIONS

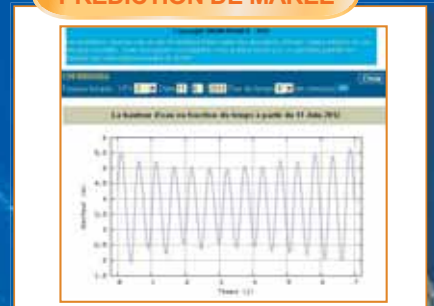
SUIVI DU RÉSEAU DE MARÉGRAPHES



ÉTUDE DE LA MARÉE



PRÉDICTION DE MARÉE



ÉVOLUTION DU NIVEAU DE LA MER



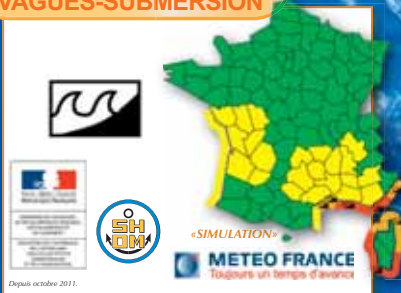
OBSERVATOIRES MARÉGRAPHIQUES



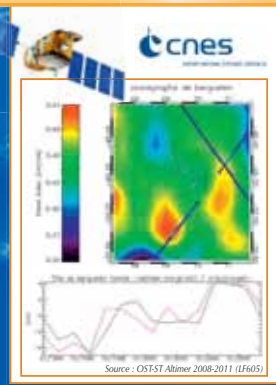
SÉCURITÉ DE LA NAVIGATION



VIGILANCE VAGUES-SUBMERSION



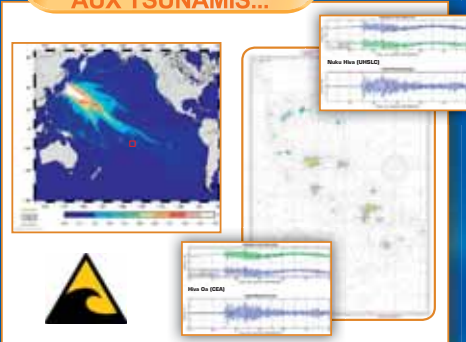
VALIDATION DES ALTIMÈTRES RADAR EMBARQUÉS SUR SATELLITE



HYDROGRAPHIE



RÉSEAUX D'ALERTES AUX TSUNAMIS...



CALCUL DES NIVEAUX EXTRÊMES



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

<http://refmar.shom.fr>
<http://www.shom.fr>



pour tout contact : refmar@shom.fr



ETAT DES LIEUX DU RESEAU D'OBSERVATION DU NIVEAU DE LA MER EN AFRIQUE



Angora AMAN

LaPA-MF, Abidjan, Côte d'Ivoire,
22 BP 582 Abidjan 22 – Email: angora.aman@gmail.com

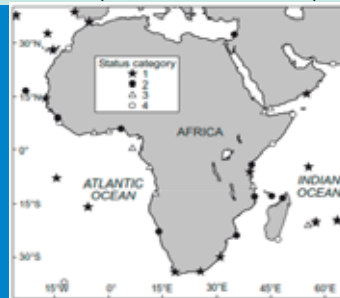


Introduction

L'Afrique présente un défi majeur pour les études environnementales. Les séries temporelles de nombreux paramètres physiques sont très courtes (beaucoup de trous) et pas de bonnes qualités. Les données du niveau de la mer représentent un excellent exemple pour illustrer ce défi. Pourtant, les mesures du niveau de la mer constituent des données essentielles aussi bien en océanographie opérationnelle que pour la recherche sur le climat.

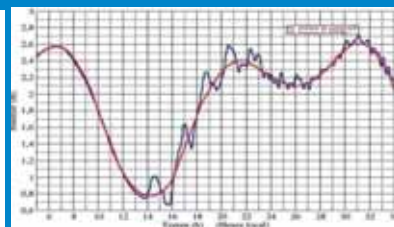
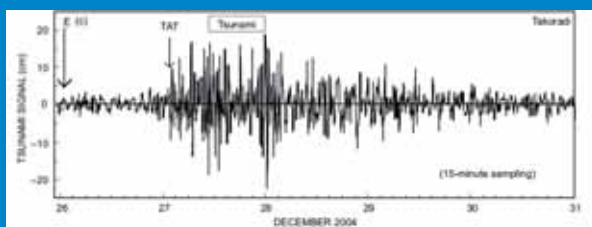
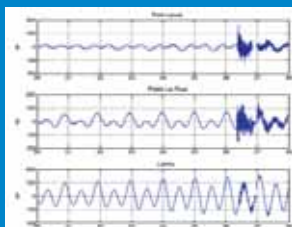
Carte des données mensuelles et annuelles reçues par le PSMSL

- 1 : stations ayant des données relativement récentes
- 2 et 3 : des données historiques existent mais pas de données récentes
- 4 : données historiques ou récentes non disponibles



Signal du Tsunami de Décembre 2004

Après le Tsunami de Décembre 2004 dans l'océan Indien, il fut urgent de renforcer le réseau de marégraphes le long des côtes africaines. Le signal du Tsunami fut détecté par les marégraphes de Djibouti, de Lamu (Kenya), de Port Louis (Ile Maurice), de Pointe La Rue (Seychelles) et même de Takoradi (Ghana). Dès lors des efforts vont être déployés entre 2004 et 2009 pour étendre le réseau d'observation du niveau de la mer en Afrique à travers le projet ODINAFRICA



Renforcement du réseau des stations de mesures: installation de nouveaux marégraphes et formation de techniciens



Nouakchott, Mauritanie



Takoradi (Ghana)



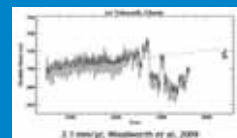
Renforcement de capacité, Ostende, Belgique, 2007



Réseau des stations marégraphiques (Avril 2012)

Grâce au support financier du gouvernement des Flandres, d' ODINAFRICA (Ocean Data and Information Network for Africa) et de nombreux partenaires internationaux (Global Sea Level Observing System, the Indian Ocean Tsunami Warning and Mitigation System), the University of Hawaii and the Benguela Current Large Marine Ecosystem Project et de certains pays Africains, une quarantaine de marégraphes de type radar Kalesto ont été installés sur les côtes africaines à partir de 2006. Les équipements ont été installés avec l'assistance du Proudman Oceanographic Laboratory en collaboration avec des collègues de la COI, du Service Hydrographique de l'Afrique du Sud. ODINAFRICA a installé des marégraphes à Nouakchott (Mauritanie), Takoradi (Ghana), Pointe Noire (Congo), Port Sonara (Cameroun), Djibouti (Djibouti), Alexandrie (Egypte). ODINAFRICA et ses partenaires ont alors permis de:

- renforcer le réseau de mesures marégraphiques
- disséminer des données marégraphiques en temps quasi réel
- bâtir un système d'acquisition, de traitement et de gestion des données du niveau de la mer.



Moyenne des données mensuelles du niveau de la mer à Takoradi. Les points représentent les moyennes mensuelles obtenues à partir du marégraphe d'ODINAFRICA installé en 2007.

Où sont les données? [UNESCO/IOC /http://www.ioc-sealevelmonitoring.org](http://www.ioc-sealevelmonitoring.org)



Conclusion

Il est important de noter que des progrès significatifs ont été réalisés dans le renforcement du réseau des marégraphes en Afrique au cours de ces 10 dernières années. Il faut espérer que ces efforts se poursuivront pour permettre d'augmenter le flux et la qualité des données marégraphiques en Afrique. Cependant, ces efforts seront vains si:

- la maintenance des équipements n'est pas assurée comme l'on peut déjà le constater le long de la côte nord du Golfe de Guinée où la plupart des marégraphes sont en panne,
- des produits ne sont pas développés à partir des données du niveau de la mer,
- la formation de techniciens et de chercheurs dans ce domaine n'est pas effective.

Le taux d'élévation du niveau de la mer en Afrique reste sans réponse précise compte tenu de nombreux trous observés dans les séries temporelles.

Archipel

Ouverture du patrimoine cartographique du SHOM

ARCHIVES
Patrimoniales
En Ligne



www.shom.fr

Suivez nos nouveautés
et actualités :



[SHOM.fr](https://www.facebook.com/SHOM.fr) [@shom_fr](https://twitter.com/shom_fr)



patrimoine hydrographique

Le SHOM dispose dans ses archives de plus de 200 000 documents papiers remontant pour les plus anciens au début du XIX^e siècle.

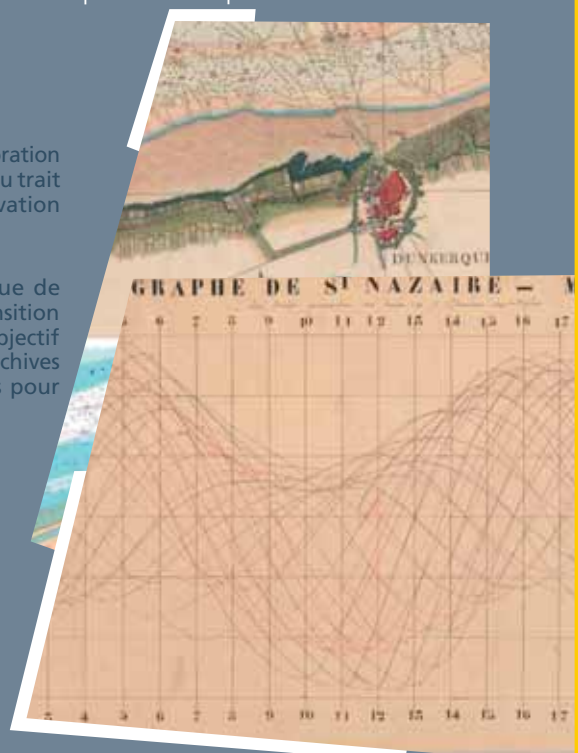
Ces documents, d'une grande qualité technique, contribuent à l'amélioration de la connaissance des évolutions historiques du littoral : évolution du trait de côte, des fonds marins, du niveau moyen de la mer, de l'observation de surcotes marines,...

Le projet ARCHIPEL du SHOM est lauréat de la première vague de consultation des Projets d'investissement d'avenir (PIA - Fonds « Transition numérique de l'État et modernisation de l'action publique »). Son objectif est d'illustrer le potentiel culturel, scientifique et économique des archives du SHOM, et de lancer une démarche de recherche de mécènes pour poursuivre leur numérisation et leur mise en ligne.

Bénéfices :

- Catalogage de données anciennes utiles pour la compréhension du changement climatique et de l'évolution du littoral
- Accès et usage libres, pour reproduction, exploitation (licence ouverte)
- Partage et diffusion des résultats
- Sauvegarde patrimoniale des documents

Préparez vos activités maritimes et littorales sur diffusion.shom.fr
Accédez aux données d'environnement physique marin sur data.shom.fr





Traitement et analyse des données marégraphiques

Marégraphe d'Alger

T. Benkouider⁽¹⁾, A. Rami⁽¹⁾, M. Nechimi⁽²⁾
⁽¹⁾ Centre des Techniques Spatiales, Arzew - Algérie
⁽²⁾ Institut National de Cartographie et de Télédétection, Alger - Algérie



Introduction

Aujourd'hui, les marégraphes constituent la seule source d'observations directes disponible sur plusieurs décennies, voire centaines d'années, qui apportent une information précieuse pour décrire et comprendre les variations passées du niveau des océans.

Le traitement par analyse harmonique de données marégraphiques nous a permis de déterminer le niveau moyen de la mer, qui représente une première détermination d'une référence d'altitude zéro, ainsi que les composantes harmoniques de la marée.



Fig. 1 Marégraphe Acoustique Log-aLevel

Méthodologie

2.1. Analyse Harmonique de la Marée

Doodson (1921) obtint une expression de la hauteur de marée selon la formule harmonique de la marée:

$$h(t) = Z_0 + \sum_{i=1}^n A_i \cos(V_i - \varphi_i)$$

Z_0 : Niveau moyen.

A_i : Amplitude de l'onde.

φ_i : Phase de l'onde.

V_i : Argument astronomique dans le développement harmonique du potentiel générateur de marée.

2.2. Effet du baromètre inverse

La réponse du niveau de la mer aux variations de la pression atmosphérique est désignée sous le nom de l'effet du "baromètre inverse". Elle provient du changement de la force de pression de la masse d'air surplombant la surface marine.

$$INB = 9.948(P_{atm} - 1013.25) = \frac{P_a - P_a}{\rho g}$$

Où : P_a : Pression introduite au niveau de la mer.

$\overline{P_a} \approx 1013.25$ m : Pression atmosphérique moyenne.

$\rho \approx 1,025$ g/cm³ : Densité moyenne de l'eau de la mer.

$g \approx 981$ cm/s² : Accélération de la pesanteur.

Données

Les données utilisées issues du marégraphe numérique de type Log-aLevel installé au port d'Alger sont fournies par l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT), couvrant la période du 13/12/2011 au 12/12/2012.



Fig. 2 Localisation du marégraphe d'Alger

Résultat et analyse

Les données brutes sont corrigées de l'effet du baromètre inverse, avant de commencer l'analyse harmonique de la marée, en utilisant le logiciel T_Tide.

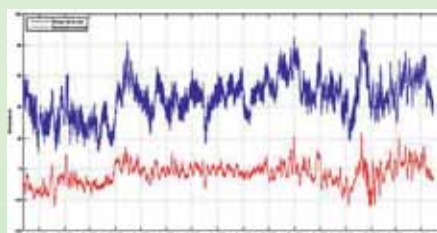


Fig. 3 Niveau de la mer observé (en bleu), l'effet de baromètre inverse (en rouge)

La figure (3) représente les mesures brutes du niveau de la mer et l'effet du baromètre inverse, on remarque que l'allure des variations du niveau de la mer de chaque station suit parfaitement celle du baromètre inverse, ce qui nous permet d'avoir une idée sur la qualité de la mesure.

L'analyse harmonique, par le T_Tide, des données marégraphiques corrigées de l'effet du baromètre inverse permet d'avoir le niveau moyen de la mer et une matrice contenant la liste des composantes harmoniques : nom de l'onde, sa fréquence, son amplitude et sa phase et leurs incertitudes.

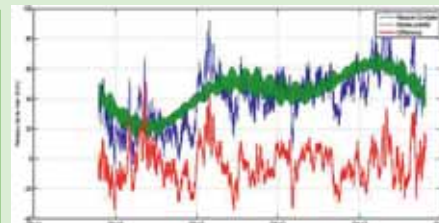


Fig. 4 Niveau de la mer (en bleu), la marée prédite (en vert) et la différence (en rouge)

La figure (4) représente la série marégraphique corrigée de l'effet du baromètre inverse et la marée astronomique reconstruite à partir des composantes harmoniques identifiées avec un SNR_z (Signal-to-noise ratio : C'est un indicateur de la qualité de la transmission d'une information).

Conclusion

L'objectif de ce projet est de déterminer d'une façon préliminaire, une référence d'altitude zéro à partir des données marégraphiques.

Le traitement des données marégraphiques par analyse harmonique nous a permis de déterminer le niveau de la mer au port d'Alger, l'analyse des résultats montre un décalage faible entre la référence altimétrique actuelle et celle déterminée au port d'Alger (6.6 cm)

L'utilisation de séries temporelles plus longues (plusieurs années) et de différents marégraphes va sûrement nous permettre de déterminer avec précision la référence altimétrique qui servira d'origine zéro pour le réseau de nivellement général algérien.

Références

- Aviso and PoDaac User Handbook (2008). IGDR and GDR Jason-1 Products, SMM-MU-M5-OP-13184-CN. Edition 4.1.
- Doodson A. T. (1921). Harmonic development of the tide-generating potential. Proceedings of the Royal Society of London A, 100, pp.305-329.
- Elie. F. (2006). Les marées. <http://fred.elie.free.fr/>
- Lefevre, F. (2000). Modélisation des marées océaniques à l'échelle globale : Assimilation de données in situ et altimétriques. Thèse de doctorat de l'université Toulouse III – France.
- Pawlowski R., B. Beardsley and S. Lentz (2002). Classical tidal harmonic analysis including error estimates in Matlab using T-tide. Computers and Geosciences 28 (8), 929-937.
- Pouvreau N. (2008). Trois cents ans de mesures marégraphiques en France : outils, méthodes et tendances des composantes du niveau de la mer au port de Brest. Thèse de doctorat de l'université de la Rochelle – France.



Les variations du niveau marin durant l'holocène à l'actuel : Exemple dans la baie de Bou-Ismaïl (littoral Ouest algérois).

BENSLAMA Lazreg
Laboratoire de Géo-Environnement / FSTGAT- USTHB
E-mail : lazregb@yahoo.fr

Introduction

Plusieurs profils morphologiques sous-marins ont été relevés le long des côtes rocheuses méditerranéennes françaises (J. Collina-Girard, 1997 ; 1999), côtes adriatiques croates (F. Lagarès, 2007). Ces auteurs constatent, en effet, sur les profils relevés, des replats d'érosion ou des encoches, qui réapparaissent significativement aux mêmes profondeurs, avec une extension sur des domaines géographiques très vastes.

Ces observations suggèrent des périodes de ralentissement général dans la montée holocène de l'océan et des mers du globe. Le but de ce travail est de comparer ces résultats à ceux obtenus dans la côte ouest algéroise dans zone comprise entre Bou Ismaïl et Ain Benian.

Situation géographique et cadre morphologique :

La région faisant l'objet de ce travail correspond à la plate-forme continentale de la partie orientale de la baie de Bou Ismaïl (Fig. 1). Elle se situe dans le secteur ouest algérois et est limitée à l'est par Ras Acrata et s'étale vers l'ouest jusqu'à proximité de la ville de Bou Ismaïl.



Fig. 1 : Situation du secteur étudié

La carte bathymétrique (Leclaire, 1972) montre un plateau continental relativement étroit à presque inexistant devant les caps Chenoua et Ras Acrata. Il se développe dans la baie mais son extension vers le large ne dépasse guère la quinzaine de kilomètres (Fig. 2). Le rebord continental est bien marqué à -120 mètres de profondeur.

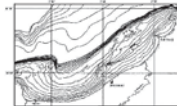


Fig. 2 : Carte bathymétrique (Leclaire, 1972).

La topographie de ce plateau est par endroits très irrégulière. Ceci traduit un fond rocheux affleurant ou recouvert par une très faible épaisseur de sédiments. Ce caractère est bien souligné par le tracé tortueux des isobathes, particulièrement dans les profondeurs à -100 mètres et -110 mètres.

Morphologie et ruptures de pentes sur la plate-forme continentale

Les levés ont été réalisés à l'aide d'un sondeur bathymétrique de type « Furuno » (précision de l'ordre de 10 cm.) à bord du N/O "M.S. Benyahia". Les profils bathymétriques concernent les fonds à partir de -10 mètres.

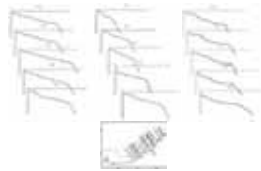


Fig. 3 : Profils bathymétriques ; tracé et localisation.

Ces profils révèlent un fond rocheux très accidenté dans le détail. Pour mettre en évidence les différentes ruptures de pente et établir une relation avec les possibles lignes de paléo rivages, nous avons analysé 15 profils bathymétriques (Fig. 3).

Sur chacun des profils nous avons relevé les points de rupture de pente. Les fréquences converties en pourcentages sont reportées sur un histogramme. Ainsi, on note sur l'ensemble des profils concernés, la présence de neuf zones marquées par des ruptures de pente plus ou moins bien exprimées.

Ces ruptures sont situées aux profondeurs suivantes : entre -15 et -18 m, -25 et -30 m, -34 et -37 m, -40 et -44 m, -48 et -54 m, -58 et -64 m, -70 et -78 m, -86 et -90 m ; enfin la dernière rupture de pente observée sur la plateforme, est à la profondeur de -96 m à -112 m (Fig. 4).



Fig. 4 : Courbe de fréquence des ruptures de pente relevées sur les profils.

Ces ruptures dans la topographie sous-marine de la zone étudiée montrent, en partie une similitude avec les résultats de Collina-Girard pour le sud de la France (Fig. 5), de Lagarès en Croatie du nord et en totale concordance avec ceux de Corrêa pour la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul. Elles correspondraient à des stationnements du rivage lors de la remontée marine.

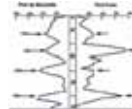


Fig. 5 : histogramme de Collina-Girard pour le sud de la France (2002 ; modifié)

Les fluctuations du niveau marin

Entre 27 000 et 18 000 ans BP, le niveau des océans baisse d'environ -50 mètres à -120 mètres. De 18 000 à 12 000 ans BP, la fonte des calottes glaciaires se traduit par une remontée très rapide qui se poursuit jusque vers 7 000 ans. Les océans auraient atteint un niveau très proche du zéro actuel dès 6 000 ans B.P. et oscille de part et d'autre de ce niveau avec une amplitude ne dépassant pas quelques mètres.

Dans le Golfe du Lion, de nombreux témoins reliques de fonds infralittoraux d'âge pléistocène à holocène ont été observés, affleurant ou enfouis sous le recouvrement meuble post glaciaire à des profondeurs comprises entre -120 et -30 mètres. Le remplissage terrigène fin s'est réalisé en plusieurs étapes liées à des stationnements de la ligne de rivage sous la forme de prismes sédimentaires progradants (Aloisi et al, 1975; Aloisi, 1986).

Ce schéma se retrouve sur la marge algérienne. On note en effet des dépôts de bas niveau à ces mêmes profondeurs. Ces dépôts signalés déjà par Leclaire seraient équivalents aux témoins reliques des fonds infralittoraux d'âge holocène à actuels. Ils ont été mis en évidence dans plusieurs zones et appelés « coquillers du large » dans la baie de Bou-Ismaïl dans l'ouest algérois (Mouffi A. ;1995) et en baie d'Arzew dans l'Oranie (Atroune F. ; 1993), « sables reliques » en baie d'Alger (Maouche S. ; 1987) ou « coquiller » en baie de Zemmouri dans l'est algérois (Benslama H. ; 2001). Ils sont formés de coquilles entières et de débris, de lamellibranches, de gastéropodes et de maërl.

Conclusion

Cette étude va dans le sens des conclusions d'autres auteurs concernant la variation récente du niveau marin, notamment par l'étude d'anciens rivages et deltas fluviaux. Elle suggère l'existence de nombreuses pauses dans le réchauffement holocène et d'une forte variabilité des vitesses de remontée de la mer au cours du temps.

Les irrégularités constatées sur les profils bathymétriques témoignent de l'existence d'un substratum rocheux, parfois à l'affleurement, souvent enfouis sous une faible épaisseur de sédiments. Cette topographie représente un paléorelief hérité de la variation du niveau marin durant les derniers millénaires.

Bibliographie sommaire :

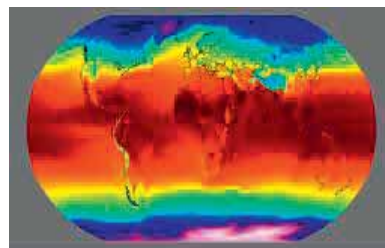
- Atroune F., 1993. Etude de la sédimentation de la plateforme continentale de Mostaganem : rôle de l'oued Cheliff et des organismes carbonatés. Thèse Magister. USTHB.
- Aloisi J.C., 1986. Sur un modèle de sédimentation deltaïque: contribution à la connaissance des marges passives. Thèse d'Etat, Université de Perpignan, 162 p.
- Benslama-Habiki H., 2001. Apports détritiques de l'oued Isser et rôle du canyon d'Alger dans la dynamique des sédiments du plateau continental de la baie de Zemmouri El Bahri. Thèse Magister. USTHB
- Collina-Girard J., 2002. Underwater mapping of Late Quaternary submerged shorelines in the western Mediterranean Sea and the Caribbean Sea, Quatern. Int. 92: 63-72.
- Correa I.C.S., 1990. Analyse Morphostructurale et Evolution Paléogéographique de la Plate-Forme Continentale Atlantique Sud-Brésilienne (Rio Grande do Sul- Brésil). Thèse Doct., Univ. Bordeaux I, 477, 314 pp.
- Leclaire L., 1972. Sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin algéro-baléare. (Précontinent algérien). Thèse Doct. d'Etat, Mémoire Muséum Nat. Hist. Nat. ; Série C, T. XXVI.
- Maouche S., 1987. Mécanismes hydro sédimentaires en baie d'Alger (Algérie). Approches sédimentologiques, géochimique et traitement statistique. Thèse Doct. 3^{ème} Cycle. Université de Perpignan.
- Mouffi A., 1995. Les mécanismes de la sédimentation récente et les propriétés géotechniques des dépôts récents de la partie occidentale de la baie de Bou-Ismaïl. These Magister. USTHB

**CONTROLLER LE RELEVEMENT DU NIVEAU MARIN :
DILATATION, FONTE, MASSIFICATION DES EAUX**

Pr Adoté Blim Blivi, Université de Lomé - Togo, DR/CGILE

bliviadoteblim@gmail.com

A partir des cours, conférences, séances de travaux pratiques de l'Ecole Internationale MEDIAS "L'Afrique et le Changement global", 13 - 25 février 1995 à Nairobi Kenya aux 3èmes Communications des Parties à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, décembre 2014, des tonnes d'informations et de données sur le réchauffement de la planète, terre et eaux, sont concordantes et font persister dans toutes les consciences et dans diverses places que la température moyenne mondiale augmente vers 2°C. Il n'existe plus de doute scientifique en aucun point humain du monde sur la réduction des superficies englacées terrestres, la diminution des volumes de pans de calottes glaciaires à cause du réchauffement. La résultante de la chaleur est, entre autres, la fourniture de masses d'eaux vers les bassins et la dilatation des eaux marines ; l'ensemble de ces processus (fonte et dilatation) concourent inévitablement au relèvement du niveau des eaux océaniques surtout dans le domaine intertropical, malgré la recharge importante des aquifères localisées entre les montagnes, les calottes glaciaires et les bassins récepteurs tropicaux.



Le réchauffement est incontournable ; l'élévation du niveau marin est progressive. Encore des décennies d'enregistrement des valeurs par les moyens technologiques précis, géographiquement mal distribués, sont à considérer pour des travaux de prévisions et de projections météo-marines. Les marqueurs, ennoyage, érosion accélérée, croissance en contamination en sel et en modification biologique sont visibles, sont à mesurer et à intégrer dans un programme continu (éviter les courts programmes de 3 à 5 ans).



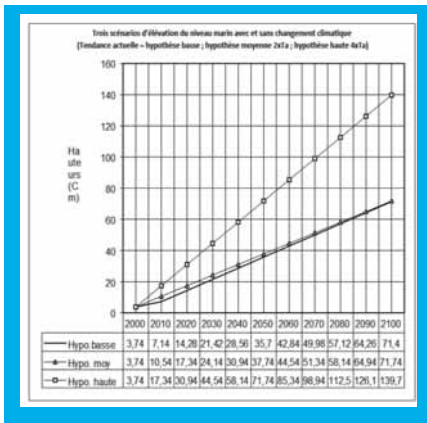
Erosion de côte sableuse (accélérée)



Submersion et ennoyage des côtes

Sur les façades des continents, le long des mers et des océans, sont localisées des stations météorologiques et marégraphiques. L'Afrique sur l'Atlantique Orientale compte 20 stations marégraphiques installées par les programmes et pays (ODINAFRICA 5 stations ; BCLME 2 stations ; IOC 1 station ; NOAA 2 stations ; Espagne 5 stations ; Nigeria 1 station ; France 1 station ; Côte d'Ivoire 1 station ; Guinée 1 station ; Portugal 1 station) intégrées au réseau GLOSS. Il existait ou existe encore des réseaux ponctuels de stations de température de surface de mer (réseau très côtier, 800 m en mer) en Côte d'Ivoire, Ghana, Togo, Bénin, Nigeria, installées entre 2005 et 2008 ; des stations marégraphes Radar et stations météo automatiques du réseau MARNEMET 2009-2013, installées au Sénégal, Mauritanie, Cap Vert, La Gambie.

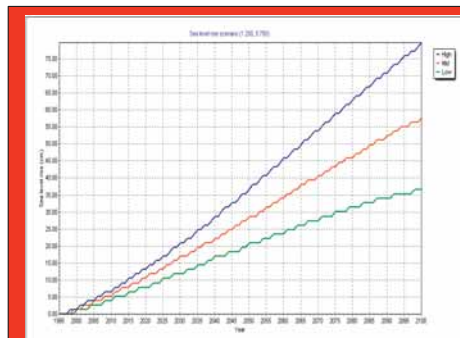
Bliv A. B. (2000) a publié l'inventaire des sources de données marégraphiques dans le golfe de Guinée sur les stations de Lagos, Téma, Takoradi, Abidjan. La station de Takoradi au Ghana dispose de données d'une longue série de 58 ans / 1930-1988. L'analyse des données sur l'évolution du niveau marin à diverses échelles en Afrique de l'Ouest a montré des familles d'oscillations du niveau de la mer : - oscillations forcées par le vent, - oscillations liées à la marée, - oscillations dues aux ajustements des masses d'eau, des champs de vent et de pression atmosphérique et localement aux débits liquides fluviaux. L'étude a montré également les trois scénarios d'élévation du niveau marin.



Réponses : Océans en zone intertropicale sont des bassins ; Convergence des eaux de fonte de glaces ; Niveau marin est plus élevé que le niveau moyen mondial ; Réchauffement à 1.5°C en 2030/2035 ; Effet sur la côte (golfe de Guinée), niveau marin 50 cm en 2060/2070 ; 70 cm en 2080 et 100 cm en 2100 (2°C) ; 10% plus que le niveau marin moyen global le long des côtes africaines

La 3e Communication Nationale du Togo sur les Changements Climatiques, Zone côtière CGILE, 2014, a pris en compte le modèle : Sea Level Rise/Model Representative Concentration Pathways (RCPs) avec les températures modélisées - RCP2.6/2°C et - RCP8.5/4°C

NM /RCP2.6	1995	2025	2050	2075	2100
NMHaut	0 cm	15,86	34,16	54,90	74,22 cm
NMMédian	0 cm	12,20	26,84	40,26	58,63 cm
NMBas	0 cm	9,16	19,52	28,06	34,16 cm

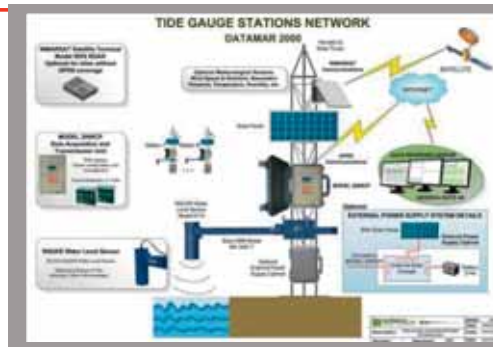
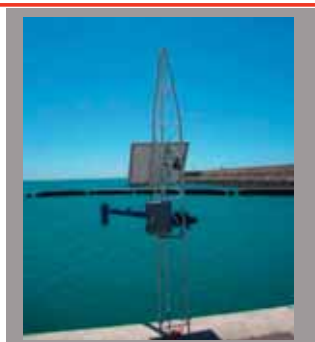


Sea level rise RCP8.5 (4°C) : 1995, basic Zero hydro/ Up to 2100, sea level at 64,66 cm With increasing of sea temperature / Up to 2100, extreme sea level at 120 cm / Up to 2100, medium sea level at 90,20 cm

VERS L'ACQUISITION DE MAREGRAPHE CAPTEUR RADAR ET DE STATION METEO AUTOMATIQUE DANS TOUS LES PORTS ; une vision pragmatique 2016-2021, programme continu inféodé au IOC Capacity Development 2015-2021 de juillet 2015, avec formation de techniciens en maintenance. Les pays membres de la COI et de l'OHI doivent offrir les sites et les éléments primaires de base de ces technologies pour assurer l'objectif global de diffusion des données vers les usagers de la mer en temps réel et en temps différé en vue des avantages de sécurité maritime : réduction des pertes de vies et des biens, réduction des dommages aux infrastructures, fourniture des données pour la sécurité de la navigation et de l'économie, prévention des catastrophes, amélioration des activités de pêche, renforcement de la capacité scientifique et technique, meilleure connaissance de la météorologie marine et de l'écologie en relation avec les intensités des variables.



Port de Lomé, possibles sites de station marée et météo



INTERPRETATION DES VARIATIONS DU NIVEAU MARIN RELATIF DANS LE PACIFIQUE TROPICAL DURANT L'HOLOCENE RECENT

A. Botella (1), N. Hallmann (2), V. Pothin (2), G.A. Milne (1), G. Camoin (2), C. Vella (2), A. Eisenhauer (3), E. Samankassou (4)

(1) Dept of Earth and Environmental Sci., University of Ottawa

(2) CEREGE, université Aix-Marseille

(3) GEOMAR, Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel

(4) Dept of Earth and Environmental Sci., Université de Genève

Cette étude a pour objectif de comprendre et de quantifier la contribution de l'ajustement isostatique aux variations du niveau marin relatif dans le Pacifique tropical, et d'estimer les variations de volume global des glaces terrestres au cours des 6000 dernières années. Elle se base sur l'interprétation de données collectées sur quatre atolls de l'archipel des Tuamotus (Fakarava, Manihi, Rangiroa et Tikehau) and deux îles hautes de l'archipel des îles de la Société (Bora Bora et Maupiti) (Hallmann et al., en préparation) ; des données provenant de l'île Christmas ont aussi été considérées (Woodroffe et al., 2012). Les variations passées du niveau marin sur ces différents sites ont été reconstruites en observant des micro-atolls, récifs coralliens considérés comme des indicateurs relativement précis du niveau de basse mer.

En combinant deux modèles de glaces terrestres et plusieurs centaines de modèles de Terre, et en comparant les données collectées avec les résultats des calculs de modèles, un ensemble de paramètres optimaux est déterminé. Le 'meilleur modèle' ainsi obtenu est utilisé pour évaluer le signal de l'ajustement isostatique, qui est alors soustrait du niveau marin relatif issu des observations. Le signal résiduel constitue une approximation de la contribution des glaces terrestres aux variations du niveau marin ; celui-ci est comparé à de récentes estimations des variations de volume global des glaces terrestres durant l'Holocène.

Cette analyse fournit notamment une estimation de l'amplitude et de la vitesse des variations naturelles du niveau marin au cours d'une période caractérisée par une relative stabilité du climat, et offre un contexte intéressant pour étudier la hausse du niveau marin au cours de l'Anthropocène.

Hausse du niveau marin en outremer français : vers des hypothèses de travail régionalisées ?

A. Botella

Département des sciences de la Terre et de l'environnement, Université d'Ottawa, Canada

email: abote036@uottawa.ca

Un défi pour les territoires français d'outremer

Les écosystèmes et communautés insulaires sont particulièrement vulnérables aux conséquences du changement climatique^[1].

La nécessité d'une stratégie à long terme

L'adaptation en zone littorale requiert une grande anticipation, notamment en matière d'aménagement du territoire.

Un cadre réglementaire en cours de définition

La réglementation nationale relative au risque de submersion marine a été précisée en 2010, suite à la tempête Xynthia.

Des connaissances scientifiques en évolution

En 2013, le GIEC a mis à jour ses projections et a rappelé que la hausse du niveau marin ne sera pas globalement uniforme.

PROBLÉMATIQUE

“ En outremer, le risque de submersion associé à la hausse du niveau marin est-il correctement estimé dans la réglementation nationale ? ”

MÉTHODOLOGIE

Identification des hypothèses de travail retenues dans la réglementation nationale relative au risque de submersion marine^[2].

Projections de la hausse du niveau marin à l'horizon 2100 pour dix sites de métropole et d'outremer, calculées à partir de données issues du dernier rapport du GIEC^[3].

À scénarios d'émissions équivalents, comparaison des projections locales et des hypothèses retenues par les pouvoirs publics.

En complément, caractérisation des causes de variabilité spatiale et étude de sensibilité vis-à-vis des principales sources d'incertitude.

CONCLUSIONS

Le risque de submersion apparaît sous-estimé sur l'ensemble du littoral français ; dans le cas pessimiste étudié, les projections locales de hausse du niveau marin excèdent d'au moins 80% l'hypothèse de travail retenue par les pouvoirs publics (Fig. 1 et 3).

Les territoires d'outremer seront plus affectés que la façade Atlantique de la métropole (10 à 20% de hausse en plus) du fait de la variabilité spatiale du niveau marin (Fig. 1). Cette variabilité est à la fois imputable aux contributions massique et stérique (Fig. 2).

La différence de hausse entre métropole et outremer sera accrue si la fonte de la calotte du Groenland s'avère plus importante que prévue. Cette différence est en revanche peu sensible aux incertitudes concernant l'instabilité des glaces en Antarctique.

RECOMMANDATIONS

Réviser l'hypothèse de travail adoptée dans la réglementation nationale afin de refléter les plus récents travaux du GIEC.

Formuler des hypothèses régionalisées, de manière à prendre en compte l'exposition plus importante des territoires ultramarins à la hausse du niveau marin et au risque de submersion associé.

Développer un cadre de travail pour l'adaptation permettant d'intégrer les incertitudes scientifiques de manière plus systématique et formelle.

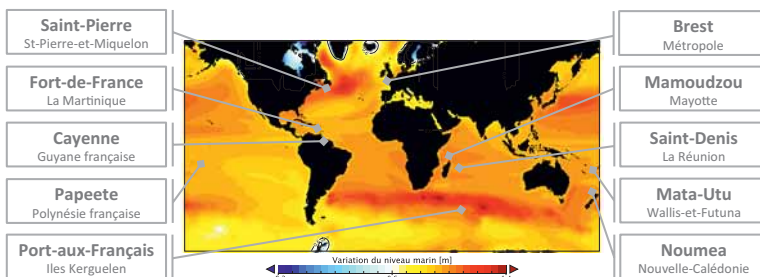


Fig. 1. Variabilité régionale du niveau marin et répartition des sites étudiés. Valeur haute de l'intervalle de confiance 90% de la variation du niveau marin entre 1986-2005 et 2100. Cette représentation, établie sur la base des données du dernier rapport du GIEC, tient compte de l'expansion thermique globale, de l'évolution de la dynamique des océans, des glaces continentales et des réservoirs terrestres d'eau, de la charge atmosphérique ainsi que de l'ajustement isostatique glaciaire. Le trait discontinu noir indique la limite des 60 cm de hausse.

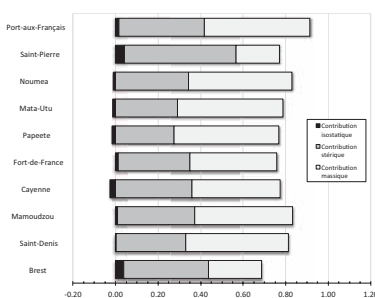


Fig. 2. Contributions à la hausse du niveau marin. Valeurs moyennes des contributions locales entre 1986-2005 et 2100. En gris clair : contribution massique (glaciers, calottes glaciaires, eau terrestre). En gris foncé : contribution stérique (expansion thermique, dynamique des océans, charge atmosphérique). En noir : contribution isostatique (seul l'ajustement isostatique glaciaire est considéré).

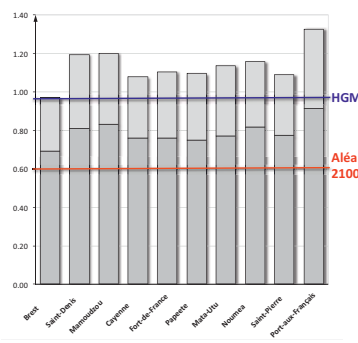


Fig. 3. Comparaison des projections et de l'aléa 2100. Hausse locale entre 1986-2005 et 2100. En gris foncé : valeur moyenne. En gris clair : valeur haute de l'intervalle de confiance 90%. En bleu : hausse globale moyenne (HGM, 98 cm). En rouge : hypothèse de travail dite 'pessimiste' adoptée dans la réglementation nationale (aléa 2100, 60 cm).

[1] Duvat et al (2012). Les outremer face au défi du changement climatique. La Documentation Française.

[2] Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (2011). Circulaire relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les PPR-L, 27 juillet 2011.

[3] Church et al (2013). Sea Level Change. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.



Etudes des Paramètres Hydrodynamiques de Contrôle de la Sédimentation dans L'estuaire du Wouri au Cameroun



FOSSI FOTSI Yannick Gervais, NKOUÉ NDONDO Gustave Raoul
Laboratoire de Géosciences et Environnement de l'Université de Douala (Cameroun)
fossiyannick@yahoo.fr

Les estuaires, zones privilégiées de construction des infrastructures portuaires, jouent un rôle essentiel dans les échanges économiques avec l'extérieur des pays. Aujourd'hui, milieu à phénomène de sédimentation, source d'une insuffisance de profondeurs près de la côte entraîne un impact défavorable à l'exploitation optimale des Ports. Devenu un problème mondiale, des travaux effectués dans les grands estuaires tels que Hudson au Etats-Unie, la Gironde, la Loire en France ... L'analyse de la propagation des ondes de marée le long de l'estuaire, apparaît comme un moyen efficace d'explorer le fonctionnement hydrodynamique des estuaires et de déterminer les processus de contrôle de Sédimentation. Cette étude reste encore très mal connue pour les estuaires Africains à l'exemple de L'estuaire du Wouri au Cameroun ou cette problématique n'avait pas encore fait l'objet d'une recherche.

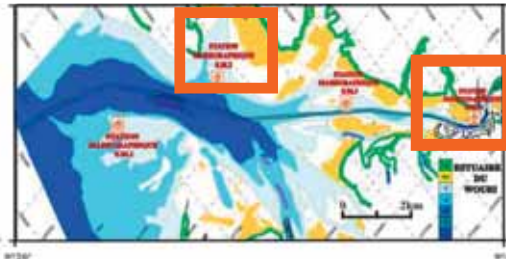
Ce travail a pour objectif de caractériser l'estuaire du Wouri sur la base de son asymétrie tidale à travers l'analyse de la forme des marées et de leur évolution en fonction des fluctuations saisonnières du débit fluvial, et des variations du cycle vives-eaux – mortes-eaux.

Estuaire du Wouri



L'estuaire du Wouri encore appelé estuaire du Cameroun est situé dans la partie méridionale de la plaine côtière du Cameroun (figure 1). C'est une zone qui constitue l'extension nord océanique du golfe de Guinée. Le bassin de Douala auquel il appartient est le plus vaste ensemble de la plaine côtière du Cameroun, caractérisé par une très faible altitude. Il constitue l'embouchure sur océan atlantique de 3 grands fleuves tributaires (Mungo, Wouri et Dibamba).

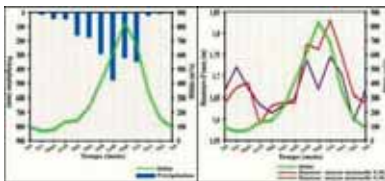
Matériaux d'enregistrements des données marégraphiques et bathymétriques.



Les données marégraphiques analysées dans le cadre de ce travail sont issues de deux stations marégraphique (S.M.2 et S.M.4) fonctionnelles du Port Autonome de Douala enregistré à l'aide d'un marégraphe mécanique à flotteur (OTTR16) et d'un marégraphe numérique de types Jauge à marée portable Model 740.

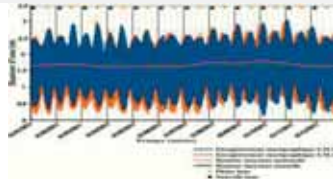
Les mesures bathymétriques ont été obtenus à l'aide d'un sondeur bifréquence (33/210 KHz) mesurées une fois par mois (le 11 de chaque mois) en 2011 le long du chenal de navigation entre la S.M.2 et à la S.M.4 (pk 24 à pk 4)

Variations des Précipitations, du Débit fluvial et du Niveau d'eau à l'estuaire du Wouri.



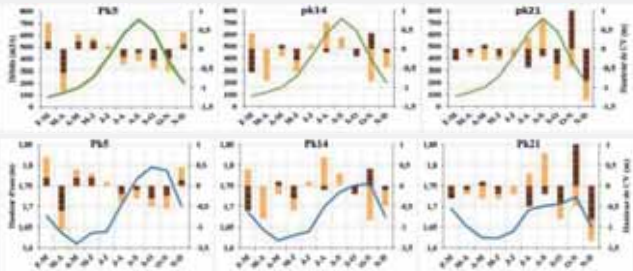
L'évolution des niveaux d'eau sont quasi simultanée dans les deux stations (S.M.2, S.M.4). On observe néanmoins un décalage vertical des niveaux d'eau entre ces deux stations, les plus faibles étant observées à S.M.2 et les plus importantes à S.M.4, notamment en période de hautes eaux et pendant la décrue.

Variation des enregistrements marégraphiques aux différentes stations (S.M.2, S.M.4).



L'estuaire du Wouri est soumis à une marée de type semi-diurne d'inégale amplitude avec une période lunaire moyenne de 29jours 50heures. Au regard, l'enregistrements des 2 stations marégraphiques présentent une courbe de nature identique avec des enregistrements à la même hauteur en PM et différente en BM.

Comportement de la crème de vase (dépôts ou remise en suspension) dans l'estuaire du Wouri en fonction des points kilométriques (2011)



la variation de crème de vase avec le débit et la marée à l'échelle kilométrique, nous montre qu'en amont lorsque les Débits < 500 m³/s et la hauteur d'eau ≤ 1,7m, nous sommes en période de dépôts et le cas contraire lorsque les 500 m³/s < Débits > 800 m³/s et 1,70 m ≤ Hauteur d'eau > 1,85 car nous sommes en période de remise en suspension. Au milieu et en aval de l'estuaire lorsque les Débit < 500 m³/s et hauteur d'eau ≤ 1,7m, nous sommes en période de remise en suspension et le cas contraire 500 m³/s < Débits > 800 m³/s et 1,70 m ≤ Hauteur d'eau > 1,85 m car nous sommes en période de dépôts. Ensuite, nous observons de la variation du débit et la marée une corrélation négative tout au long de l'estuaire du 11 Février au 11Avril et inversement une corrélation positive du 11Avril au 11 Décembre 2011.

Conséquence de la dynamique sédimentaire sur l'activité portuaire : proposition des moyens d'atténuations

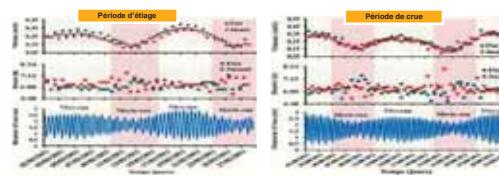
- Les caractéristiques intrinsèques de l'estuaire du Wouri, favorisent les dépôts de sédiment dans l'estuaire.
- Ces dépôts ont un impact considérable sur les activités portuaires car limitent le trafic maritime dans l'estuaire.
- L'inversion de l'asymétrie de la marée dans le cycle vives-eaux, mortes-eaux
- forçage vers l'aval du point nodal.

Références

Friedrichs C.T., Aubrey D.G. (1988). *Non-linear tidal distortion in shallow wellmixed estuaries: a synthesis*. Estuarine Coastal and Shelf Science, n°27 (5), pp 521-545. doi:10.1016/0272-7714(88)90082-0. M. Sylvain Capo. (2006). Hydrodynamisme et dynamique sédimentaire en milieu tropical de mangrove, observation et modélisation de l'estuaire du Konkouré, République de Guinée. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 260pp 3 - 127.

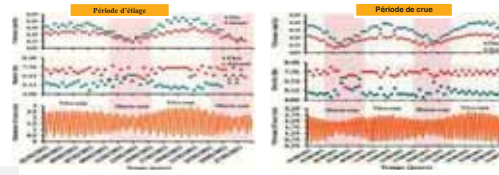
Asymétrie de la marée sur un cycle vive-eau morte-eau

❖ Durée et vitesse moyenne du flot et du jusant à la S.M.2 (aval)



-Les vitesses de courant de marée sont plus faible en Morte-Eau qu'en Vive-Eau
-DFlot, Jusant M.E. # DFlot, Jusant V.E et VFlot, Jusant M.E. < VFlot, Jusant V.E
-Différence non significative des DFlot, Jusant Etiage et Crue avec une inversion en M.E.
-VFlot, Jusant Etiage > VFlot, Jusant Crue bien que VFlot > VJusant

❖ Durée et vitesse moyenne du flot et du jusant à la S.M.4 (amont)



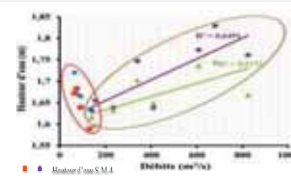
-Les vitesses de courant de marée sont plus faible en Morte-Eau qu'en Vive-Eau
-DFlot, Jusant M.E. < DFlot, Jusant V.E et VFlot, Jusant M.E. < VFlot, Jusant V.E
-Dflot < Djusant avec une différence de temps de 1H20 en période d'étiage et de 1H20 en période de crue -Vflot > VJusant

-Inversion de l'asymétrie de la marée très peu marquée entre les V.E. et M.E.
-Dominance du jusant par rapport au flot en terme de durée -Vflot > VJusant Semble contrôler la dynamique de la marée car une dominance du flot s'accompagne généralement de vitesses plus élevées pendant le flux par rapport au reflux (Friedrichs et Aubrey, 1988).

Le marée varie de 0,5 à 1,2m en morte-eau et de 2 à 2,9m en vive-eau, ce qui fait de l'Estuaire du Wouri, un estuaire microtidal en morte-eau et mésotidal en vive-eau.

la différence d'amplitude (étiage, crue) présente un caractère saisonnier.

Relation entre les marées et les apports fluviaux en eau



Période de crue: Corrélation positive témoigne le contrôle par les apports fluviaux Période d'étiage: Corrélation négative témoigne le contrôle par la marée R^2 S.M.4 > R^2 S.M.2 → l'évolution du point nodal en période de crue est plus en aval et en période d'étiage plus en amont (M. Sylvain Capo, 2006).

Relation entre les marées et les apports fluviaux en eau

A l'échelle annuelle: Très peu marqué

A l'échelle mensuelle (saisonnière), journalière: Dissymétrie des hauteurs de marées, distorsion de l'asymétrie des marées, Débits du fleuve sur le régime des marées, variation du niveau marin.

Conclusion

Enfin, cette étude nous a permis de comprendre la dynamique hydrologique et hydro-sédimentaire de l'estuaire du Wouri en le caractérisant d'estuaire à forte sédimentation Car dominé par le flot.

Néanmoins des proposition tels que l'inversion de l'asymétrie tidale vers un jusant plus dominant couplé d'un forçage vers l'aval du point nodal sont indispensables pour inverser la tendance actuelle ont été proposé en vue d'atténuer les dépôts de sédiments dans l'estuaire.

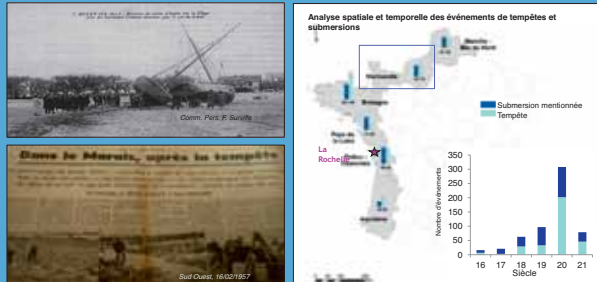
En effet, beaucoup reste à faire dans la recherche des solution aux problème d'envasement que subit l'estuaire car cette étude s'avère limitée en raison du manque des données sur les débits fluviaux et sur les champs de vitesses de courant dans l'estuaire; pour cela il serait important d'étendre la mesure bathymétrique dans tout l'estuaire et de suivre l'évolution de la marée couplée aux observations par imagerie satellitaire.

L'apport de l'information historique et régionale pour l'évaluation du risque de submersion sur le littoral Manche et Atlantique

Les tempêtes ainsi que les submersions marines associées sont des événements extrêmes connus sur le littoral français. L'IRSN mène actuellement une étude pour acquérir de l'information historique (IH) sur les surcotes et niveaux marins extrêmes (en Manche et Atlantique). L'IH et les données régionales permettent de compléter les séries de surcotes systématiques (obtenues à partir de données marégraphiques numériques) et d'améliorer l'estimation du risque de submersion marine. Bien que souvent imprécise, l'IH permet de préciser le caractère exceptionnel de certains événements en augmentant leur représentativité dans l'échantillon. En effet, certaines surcotes induites par des événements de tempêtes extrêmes, comme la tempête Xynthia, sont qualifiées de horsains (valeurs très différentes du reste des données). La construction d'une base de données à échelle du littoral Manche et Atlantique intégrant les tempêtes historiques est présentée dans la première partie de ce poster. Une brève revue de la littérature et les grandes lignes du modèle d'analyse fréquentielle (AF) régional en cours de développement font l'objet de la deuxième section.

Les événements météo-marins: Tempêtes et Submersions

Construction d'une base de données à échelle du littoral Manche et Atlantique intégrant tout événement de tempête et/ou submersion du 16^{ème} siècle à nos jours à partir de différents ouvrages (LAMB 1991, GARNIER & SURVILLE 2010, LANG & CŒUR 2011 ...), Thèses (BREILH 2014, LETORTU 2013, SCHOENENWALD 2013, DEBOUDT 1997 ...), Journaux, Série 5 des Archives, enregistrements marégraphiques ...



... à la recherche de données quantifiant le niveau d'eau atteint lors d'un événement

Hauteur exacte

01 Mars 1949 - Malo les Bains (59)
Le niveau de la mer ayant atteint 7,30 m le 1^{er} Mars 1949 soit **1,60 m plus haut que le niveau de pleine mer en absence de perturbations (5,70 m prévu au carnet de marée)**

V. Le Gorgeu, R. Guillaumeau, 1954

Intervalle

16 Décembre 1914 - Vendée (85)
Les petites digues longeant le Lay ont été **submergées de 0,50 à 0,60 m de hauteur d'eau dit-on et elles se sont rompues en divers endroits.**

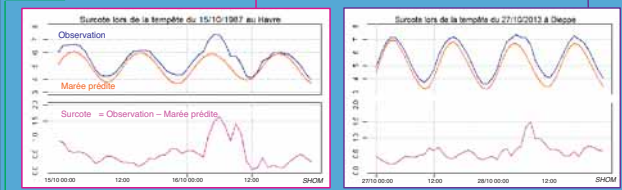
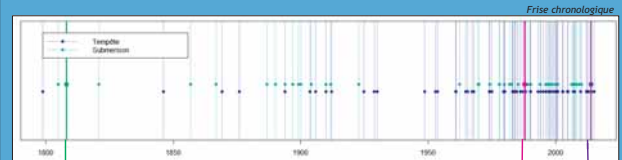
Archives départementales Vendée S 1105

Borne inférieure

07 Décembre 1682 - Ars en Ré (17)
... l'impétuosité des flots de la mer soulevés par la violence des vents du sud, ou du plus étrange ouragan qui est fait ressentir ses funestes effets depuis un siècle : car la mer estait si agitée que ses ondes s'élevèrent bien plus haut que les dunes et digues qu'on avoit fait pour l'empescher d'étendre ses eaux jusqu'elle **a passé au-dessus de l'esperon du Martray**

Registre de la Paroisse d'Ars en Ré

Le cas de la Normandie: 135 événements recensés entre 1798 et 2015



12 février 1808 - Cherbourg (50)

«Il s'éleva une tempête de vent des plus terribles qu'il soit de mémoire d'homme et c'est particulièrement sur la plage de Cherbourg qu'elle a été plus forte et qu'elle a commis les désastres les plus malheureux et les plus affligeants.

Les nouvelles, qui nous en parviennent, nous annoncent que la mer s'est élevée de **16 pieds au dessus de la digue**, ou jetée pratiquée dans la rade et à laquelle on travaille depuis plus de vingt ans. On étoit parvenu à établir, sur sa base, un plateau sur laquelle étoient placées des batteries, des hamacs ou maisonnettes en bois [...]; la mer, poussée par la tempête, a tout renversé, tout balayé et près de 400 hommes y sont périés.

Louis-Augustin Le Carpentier-Delaunay

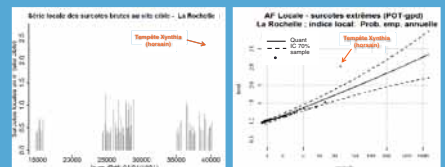
hauteur à caler par rapport au niveau actuel
→ Donnée exacte



Développement pour un site cible d'un modèle fréquentiel régional utilisant l'IH : application aux surcotes marines à La Rochelle

L'IRSN a développé, en parallèle avec l'étude de collecte de l'IH (présentée plus haut), son propre modèle d'AF régionale. A la différence des modèles régionaux existants, le modèle développé utilise l'IH et affecte un poids important aux données d'un site d'intérêt (site cible). En retenant La Rochelle comme site cible, ce modèle est appliqué à l'aléa submersion marine en intégrant des événements de submersions anciennes.

L'analyse fréquentielle régionale: Les surcotes extrêmes sont classiquement évaluées au travers d'extrapolations statistiques menées à partir de données locales. Une AF locale permet normalement d'estimer les quantiles avec une incertitude acceptable si la série locale est suffisamment longue et ne contient pas de horsains. En plus, en n'utilisant que les données relatives à un site d'intérêt dans une AF locale, on donne un poids total aux données de ce site et ceci présente un grand avantage de l'AF locale. Par contre, les séries locales sont souvent courtes et/ou caractérisées par la présence de horsains, ce qui constitue un inconvénient majeur. La régionalisation regroupe l'information disponible sur une région présentant un comportement homogène au lieu de n'utiliser les données à un site en particulier. Une analyse centrée sur un site cible et intégrant de l'IH représente donc une alternative intéressante pour contourner ces difficultés et disposer d'un ensemble d'événements plus représentatif. Cependant à ce jour, les modèles régionaux existants ne donnent pas un poids spécifique à l'information locale au site cible et ne permettent pas d'utiliser l'IH. La constitution d'un échantillon régional permet d'améliorer aussi la représentativité d'un horsain si d'autres observations exceptionnelles ont été observées dans la même région. La formation de régions homogènes, l'indépendance spatiale des observations et la durée effective d'une série régionale sont des éléments clés de l'AF régionale. L'utilisation d'une hypothèse simplificatrice liée à ces éléments clés peut dégrader considérablement la qualité des résultats.

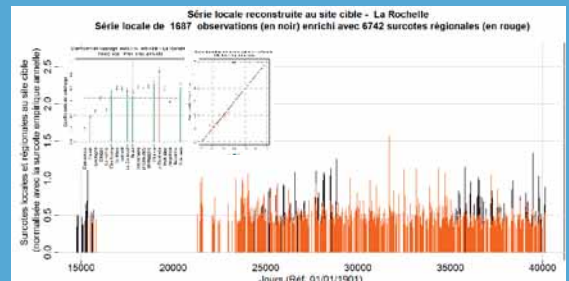


Formation des régions homogènes glissantes: le voisinage entre les sites est mesuré par le degré de dépendance physique et statistique entre les observations. C'est-à-dire qu'un site quelconque est considéré « voisin » du site cible si les observations à ce site sont fortement dépendantes de celles du site cible. La construction d'une région autour d'un site cible permet de lui affecter un poids important et de s'affranchir d'une limitation majeure des modèles régionaux classiques où le site d'intérêt n'est pas traité spécifiquement. La région est donc glissante (à chaque fois que le site d'intérêt change, la configuration et l'emplacement des régions change aussi). L'idée derrière la philosophie des régions glissantes autour de sites cibles constitue une des originalités du modèle développé. Elle permet d'éviter les discontinuités entre les régions (qui n'ont pas de sens physique pour les surcotes) et de s'affranchir ainsi d'une autre limitation des modèles existants lorsqu'un site d'intérêt se trouve à la limite entre deux régions.

Les données régionales pour enrichir la série locale: après avoir choisi un site cible et après avoir identifié la zone d'intérêt, les données aux sites voisins sont utilisées pour enrichir la série du site cible qui est souvent caractérisée par une très faible taille, la présence d'un grand nombre de trous de mesures et/ou par la présence d'un horsain.

L'IH renforce les distributions empirique et théorique et diminue l'impact du horsain: La constitution d'un échantillon régional permet d'améliorer la représentativité d'un horsain si d'autres observations exceptionnelles induites par d'autres événements (indépendants de celui qui a induit le horsain) ont été observées dans la même région. En appliquant la formule de Hirsch (1987), les probabilités empiriques des observations dépassant le seuil de perception augmentent et tendent souvent vers la courbe de la probabilité théorique. Les données historiques sont souvent liées à des événements exceptionnels.

Résultats préliminaires: Les résultats préliminaires (non présentés ici) montrent le potentiel du modèle fréquentiel régional développé. En affectant un poids important au site de La Rochelle par rapport à ses voisins dans la région cible identifiée, les données régionales et historiques, complètent la série des surcotes systématiques diminuent le caractère exceptionnel de l'événement Xynthia (en augmentant sa représentativité dans l'échantillon) et améliorent l'estimation fréquentielle des surcotes extrêmes à La Rochelle ainsi que les incertitudes associées.



Conclusion :

La période de données marégraphiques numériques se limite pour la plupart des marégraphes à la seconde moitié du 20^{ème} siècle. Les données historiques, disponibles sous différentes formes telles que les marégrammes papiers, des rapports des ingénieurs des ponts et chaussées, d'anciens journaux etc., permettent de compléter ces données sur une période beaucoup plus longue. À ce stade nous avons pu recenser presque 600 événements de tempêtes dont presque la moitié a généré une surcote marine. Dans l'ensemble, En regroupant les sites qui présentent le plus souvent un comportement similaire en présence d'une tempête et en attribuant un poids spécifique au site cible, les données régionales et historiques complètent la série systématiques, réduit l'horsanité de certains événements exceptionnels et améliorent l'estimation fréquentielle des surcotes extrêmes au site cible ainsi que les incertitudes associées.

Perspectives:

A partir de la base de données, les informations historiques quantitatives seront extraites puis intégrées dans des ajustements statistiques sur différents sites, notamment la Gironde (centrale nucléaire du Blayais) et Dunkerque (centrale nucléaire de Gravelines). Le travail sur le recensement et l'élaboration d'une méthode de quantification de l'IH qualitative est en cours. Par ailleurs, la question de l'homogénéité physique est également cruciale pour former une région autour du site cible, mais des éléments théoriques sont encore nécessaires pour la valider. Ce travail est en cours.



Effets météorologiques sur les mesures de la station marégraphique d'Alger



HADDAD Mahdi, AYOUAZ Aomar, TAIBI Hebib

Centre des Techniques Spatiales. 1 Avenue de la Palestine, BP 13 Arzew. Oran, Algérie. Email: haddad_mahdi@yahoo.fr

Résumé: Les marées, le vent, les vagues, les courants sont autant de facteurs différents qui agissent sur les variations journalières de la hauteur de la mer. Dans cette étude, nous avons cherché à vérifier si la relation du baromètre inverse est vérifiée à Alger.

L'analyse des données issues du marégraphe récemment installé à Alger a montré que les variations du niveau marin suivent parfaitement l'inverse des variations de la pression atmosphérique. Ce résultat confirme ainsi la bonne qualité des données issues du nouveau marégraphe.

Introduction

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet de recherche, mené par l'Institut National de Cartographie et de Télé-détection et l'Agence Spatiale Algérienne, portant sur la définition d'un système moderne de référence altimétrique pour l'Algérie. D'ailleurs c'est dans cette perspective que l'INCT a installé en décembre 2011 un nouveau marégraphe à acquisition numérique, de type LOG_aLevel [1] au niveau du port d'Alger. L'emplacement du site marégraphique d'Alger est protégé des houles Nord-Ouest et Ouest par le Cap Casine et le mont de Bouzaréah.

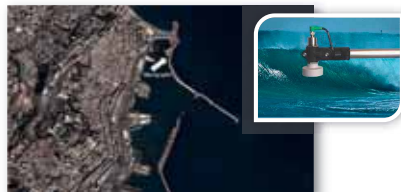


Fig 1. Localisation du site marégraphique d'Alger [source : Google Earth].

Quelque soit son principe de mesure, un marégraphe est susceptible de fournir à tout instant une information locale sur la hauteur de la surface de la mer par rapport à une référence. Le signal enregistré par un marégraphe est complexe, notamment en raison de la variété des effets qui sont susceptibles d'affecter celui-ci [2].

En effet, le niveau de la mer intègre la signature de processus physiques étroitement interdépendants comme la densité de l'eau (fonction de la température et de la salinité), les courants locaux autres que la marée, les fluctuations de la circulation océanique, les vagues, la pression atmosphérique ou le vent, par exemple [3]. La mesure du niveau marin peut donc apporter une contribution à l'étude de chacun de ces processus.

La réponse du niveau de la mer aux variations de la pression atmosphérique est souvent désignée sous le nom «baromètre inversé». Elle provient du changement de la force de pression de la masse d'air surplombant la surface marine, qui engendre une redistribution horizontale des masses d'eau sous-jacentes. Si le niveau de la pression atmosphérique augmente, alors le niveau de la mer diminue et inversement. En théorie, une variation de la pression de 1 hPa génère exactement une diminution du niveau marin de 1 cm, ce qui signifie que le coefficient du baromètre inverse correspond à -1 cm/hPa.

En réalité, il est rare que la réponse du niveau marin aux changements de pression soit identique à cette valeur, la réponse locale du niveau de la mer dépend également des effets du vent qui sont étroitement liés à la distribution des basses et des hautes pressions de l'atmosphère. Leur énergie mécanique entraîne les masses d'eau en surface par simple effet de friction, générant ainsi la houle et les courants [2]. Dans cette étude, nous avons cherché à savoir si la relation du baromètre inverse est vérifiée au niveau du port Alger.

Données utilisées

Les données marégraphiques utilisées sont celles issues du nouveau marégraphe d'Alger, couvrant la période du 13 décembre 2011 au 26 novembre 2012 (\approx 1 année). Ces données, échantillonnées à 1 minute d'intervalle, sont structurées en quatre fichiers en format ascii :

- un fichier contenant les mesures de la hauteur de la mer (en m) par rapport à la référence zéro hydrographique,
- un fichier contenant les mesures de pression (en hPa),
- un fichier contenant les mesures de la direction (en degré) et de la vitesse du vent (m/s),
- un fichier contenant des informations sur la pression atmosphérique, la température de l'air, l'humidité et la pluviométrie.

Méthodologie

L'expression de la correction barométrique inverse est [4, 5]:

$$Inv_Bar = -9.948 * (P_atm - 1013.3)$$

D'après cette relation, si les jeux de données sont de qualité, alors les variations du niveau marin suivent l'inverse des variations de la pression atmosphérique [3]. Ainsi, en traçant les graphiques de l'effet du baromètre inverse, nous pouvons vérifier la qualité de nos données.

Résultats

La Figure 2 représente cette comparaison (la relation entre baromètre inverse et le niveau de la mer), où on remarque que l'allure des variations du niveau de la mer suit parfaitement celle de la correction du baromètre inverse. Ceci est le témoin de la bonne qualité des données dont nous disposons.

La Figure 3 représente les mesures de la hauteur de la mer corrigées de l'effet du baromètre inverse. L'effet observé sur la variation du niveau de la mer dû au baromètre inverse atteint typiquement des valeurs de quelques dizaines de centimètres sur une échelle de plusieurs jours.

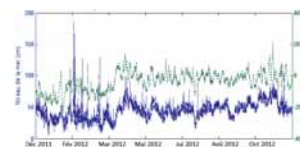


Fig 2. Représentation de la relation entre baromètre inverse et le niveau de la mer.



Fig 3. Niveau de la mer : en bleu les données brutes de la hauteur de la mer, en vert les données corrigées de l'effet du baromètre inverse et en rouge la correction du baromètre inverse.

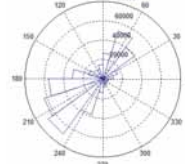


Fig 4. Histogramme des directions du vent (décembre 2011 - novembre 2012).

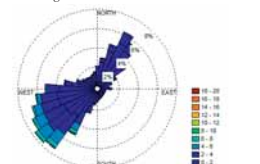


Fig 5. Rose des vents réalisée à partir des données de la station d'Alger (décembre 2011 - novembre 2012).

La Figure 4 représente l'histogramme des directions du vent. La figure 5 représente quant à elle la Rose des vents réalisée à partir des données (vitesses et directions du vent) enregistrées par le marégraphe d'Alger sur la période du 11 décembre 2011 au 26 novembre 2012. Les statistiques sur les données du vent sont données par le Tableau 1.

Tableau 1: Statistique sur les données du vent par quadrant (décembre 2011 - novembre 2012).

Direction du vent	0° - 90°	90° - 180°	180° - 270°	270° - 360°
Nombre d'enregistrement	144310	87248	240904	33268
Nombre totale	503472			
Pourcentage	28.66%	17.33%	47.85%	6.61%
Vitesse moyenne (m/s)	1.16	1.296	1.60	0.75

Les vents les plus répandus sont issus des directions Sud-Ouest (47.85% des observations). Dans cette catégorie, la vitesse moyenne du vent est de 1.6 m/s. Les vents les plus forts (vitesse supérieure à 15 m/s) sont enregistrés durant le mois d'Avril 2012, avec une direction Sud-Ouest.

La Figure 6 représente un zoom sur les variations de la hauteur de la mer (en bleu) et de la vitesse du vent (en vert) enregistrées au courant du mois d'avril 2012.

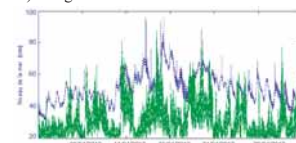


Fig 6. Zoom sur les variations de la hauteur de la mer (en bleu) et de la vitesse du vent (en vert) - avril 2012.

Conclusions

Les résultats obtenus montrent que la relation du baromètre inverse est vérifiée sur la série marégraphique d'Alger. En effet, les variations du niveau marin, collectées par le nouveau marégraphe d'Alger durant la période du 13 décembre 2011 au 26 novembre 2012, suivent parfaitement l'inverse des variations de la pression atmosphérique.

Les vents les plus répandus au niveau du port d'Alger sont issus des directions Sud-Ouest. Les vents les plus forts enregistrés durant le mois d'Avril 2012.

Références bibliographiques

1. General Acoustics (2011) LOG_aLevel. User Manual for Stationary and Mobile Version, Vers. 03.34.
2. Wöppelman G. (1997) Rattachement géodésique des marégraphes dans un système de référence mondial par techniques de géodésie spatiale. Observatoire de Paris, Paris.
3. Gouriou T. (2012) Evolution des composantes du niveau marin à partir d'observations de marégraphie effectuées depuis la fin du 18e siècle en Charente-Maritime. Thèse soutenue le 26 mars 2012 pour l'obtention du grade de Docteur de l'université de La Rochelle.
4. AVISO and PODAAC, User Handbook (2008) IGDR and GDR Jason-1 Products, SMM-MU-MS-OP-13184-CN, Edition 4.1.
5. AVISO, User Handbook (1996) Merged Topex/Poseidon Products, AVI-NT-02-101-CN, Edition 3.0.



Variabilité saisonnière et interannuelle du niveau moyen de la Méditerranée observée par l'altimétrie spatiale



HADDAD Mahdi, TAIBI Hebib

Centre des Techniques Spatiales 1 Avenue de la Palestine, BP 13 Arzew. Oran, Algérie. Email: haddad_mahdi@yahoo.fr

Introduction

Grâce à l'essor de l'altimétrie spatiale, la vision de la Méditerranée s'est nettement améliorée au cours de ces dernières années. En effet, le suivi satellitaire opéré sur les variations du niveau de la mer Méditerranée entre octobre 1992 et décembre 2010 montre une différenciation évidente Est-Ouest. En effet, le niveau du bassin oriental a augmenté de façon très nette ; par contre, le niveau de la mer Ionienne a baissé.

L'objet de cet article porte sur l'étude de la variabilité du niveau moyen de la mer Méditerranée à partir de la série temporelle d'anomalies moyennes de hauteur de la mer, issues des différentes missions d'altimétrie spatiale et couvrant la période du janvier 1993 au décembre 2012, et ce en utilisant la technique sophistiquée d'analyse de série temporelle : l'analyse spectrale singulière (Singular Spectrum Analysis - SSA).

Il s'agit ici d'effectuer une décomposition de la série temporelle, en une somme de plusieurs composantes indépendantes et interprétables, représentant les composantes de saisonnalités (ou composantes harmoniques) et la tendance. Cette tendance mettra en évidence l'élévation lente du niveau moyen sous l'effet conjugué de la dilatation thermique due à l'effet stérique, de la fonte des glaces et des glaciers, des précipitations, etc.

Données utilisées

La série temporelle d'anomalies moyennes de hauteur de mer (mean Sea Level Anomalies - SLA) exploitée dans le cadre de ce travail est issue de trois missions spatiales Topex/Poseidon, Jason-1 et Jason-2. Cette série, calculée par l'Université du Colorado, avec une résolution mensuelle (une donnée par mois), couvre la période de janvier 1993 à décembre 2010.

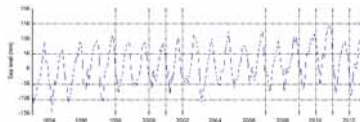


Fig 1. Série temporelle d'anomalies moyennes de hauteur de mer en Méditerranée.

Méthodologie

Le principe de base de la technique SSA est basée sur le calcul des vecteurs propres de la matrice d'autocovariance [1, 2]. On décompose son procédé en trois étapes :

Étape 1. Choix d'un retard de covariance M (covariance-lag M): C'est l'étape la plus délicate puisque cela revient en fait à tester une certaine périodicité et donc à bien connaître les effets liés à la série étudiée de taille N ($x_i, i=1, \dots, N$). Une fois M choisi, on découpe le signal en échantillons de taille M de sorte que :

$$D = \begin{bmatrix} x(1) & x(2) & \dots & x(M) \\ x(2) & x(3) & \dots & x(M+1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x(N-M+1) & x(N-M+2) & \dots & x(N) \end{bmatrix}$$

La matrice d'auto-covariance C est de taille (M, M) et s'écrit : $C = D^T D$.

Étape 2. Étude des valeurs propres de la matrice C : On détermine les M valeurs propres de la matrice C . En les représentant dans un diagramme à barres en ordre décroissant, on identifie immédiatement les valeurs propres isolées et les valeurs propres proches. D'une manière générale, la théorie de la SSA donne :

- valeur propre isolée = tendance,
- deux valeurs propres proches = signal périodique,
- les petites valeurs propres constituent le bruit du signal.

Étape 3. Projection de la série originale sur les vecteurs propres et reconstruction des composantes.

Dans le cadre de la SSA, l'approche simple pour l'extraction de la tendance consiste à reconstruire cette composante à partir des plus grandes valeurs singulières par l'intermédiaire d'une inspection visuelle. Cependant, une partie de la tendance peut exister dans d'autres composantes [2]. Ainsi, le jugement personnel est ici d'une importance capitale.

Pour surmonter ce problème, nous avons utilisé dans notre application l'approche automatique, développée par le Dr. Theodore Alexandrov de l'université de Brême (Allemagne), pour l'extraction de la tendance et l'identification des composantes harmoniques. Cette approche automatique est décrite dans [3, 4] et est implémentée dans le logiciel *AutoSSA* sous Matlab [5].

Résultats

Dans notre cas, la série du niveau moyen a une longueur $N=238$, elle contient des données mensuelles et une composante saisonnière annuelle évidente $T=12$ (Figure 1). La longueur de la fenêtre choisie est $M=108$. La recherche des composantes saisonnières a permis d'identifier les vecteurs propres correspondants : 1, 2, 4, 5, 32, 33, 44 et 45.

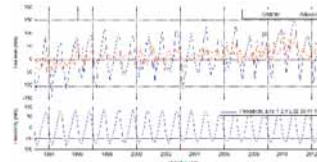


Fig 2. Saisonnalité totale extraite.

L'analyse des périodogrammes montre que les composantes harmoniques identifiées : couples de valeurs propres (1-2), (4-5), (32-33) et (44-45), ont des périodicités de 11.9725 mois (signal annuel), 6.0035 mois (signal semi-annuel), 2.2041 et 2.1509 mois, respectivement. La fréquence du signal annuel est particulièrement forte en mer Méditerranée. La contribution de ce signal annuel est de 73,62% par rapport à la variation d'origine de la série temporelle, alors que son amplitude est d'environ 15 cm.

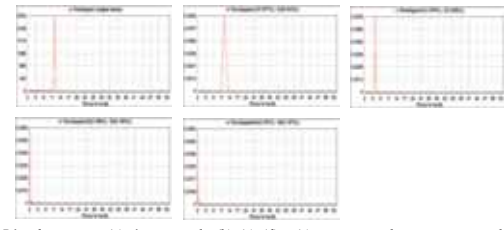


Fig 3. Périodogrammes: (a) série originale, (b), (c), (d) et (e) composantes harmoniques: couples de valeurs propres (1-2), (4-5), (32-33) et (44-45), respectivement.

Une fois les composantes harmoniques identifiées, la composante tendance a été extraite de la série ajustée (sans saisonnalités). Les vecteurs propres qui constituent la tendance sont : 1, 6 et 7. La Figure 4 représente la tendance extraite à partir de la série ajustée et les résidus. Des fluctuations importantes non saisonnières (liées au phénomène climatique d'oscillation nord-atlantique) ont été révélées au cours des deux saisons hivernales 2009-2010 et 2010-2011.

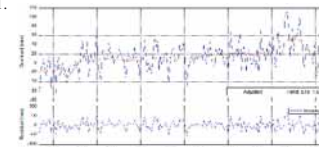


Fig 4. Tendance (ligne en rouge) des variations du niveau moyen en Méditerranée.

Le niveau moyen de la Méditerranée est caractérisé par une tendance croissante : le niveau moyen s'est élevé de -21 mm à +39 mm sur la période de 1993 à 2012.

- Au cours de la période de 1993 à 1996, la composante tendance montre que le niveau de la Méditerranée a augmenté progressivement de -21 mm à 11 mm.
- Une diminution modérée du niveau de la mer est observée au cours de la période 1997-1999 (de 11 mm à 6 mm).
- A partir de Janvier 2000, le niveau de la mer Méditerranée a commencé à remonter jusqu'à ce qu'il atteigne la valeur de 53 mm en Septembre 2010.
- Après des signes de diminution rapide en 2011 (valeur min de 22 mm en Décembre 2011), le niveau moyen de la mer Méditerranée a commencé à s'élever à nouveau, atteignant une valeur de 39 mm à la fin de 2012.

Conclusions

Les résultats indiquent que le niveau moyen de la mer Méditerranée est dominé par plusieurs composantes harmoniques. Le signal annuelle est particulièrement fort et constitue près de 73,62% de la variation d'origine de la série temporelle, alors que son amplitude est d'environ 15 cm.

La tendance extraite montre que le niveau de la mer Méditerranée a augmenté d'une manière significative d'environ 60 mm (1993-2012). Des fluctuations importantes non saisonnières (liées au phénomène climatique d'oscillation nord-atlantique) ont été révélées au cours des deux saisons hivernales 2009-2010 et 2010-2011. L'application de la régression linéaire sur la tendance extraite indique une vitesse d'élévation de $2,44 \pm 0,4$ mm/an entre 1993 et 2012.

Références bibliographiques

1. Golyandina, N., Nekrutkin, V., and Zhigljavsky, A., 2001. Analysis of Time Series Structure: SSA and related techniques. Chapman & Hall/CRC.
2. Hassani, H., 2007. Singular Spectrum Analysis: Methodology and Comparison. Journal of Data Science, 25: 239-257.
3. Alexandrov, T., Golyandina, N., 2005. Thresholds for methods of automatic extraction of time series trend and periodical components with the help of the "Caterpillar" SSA approach. In: Proceedings of the IV International Conference "System Identification and Control Problems" SICPRO'05, 1849-1864 (in Russian).
4. Alexandrov, T., 2009. A Method of Trend Extraction using Singular Spectrum Analysis, REVSTAT Statistical Journal, 7(1):1-22.
5. Logiciel AutoSSA. <http://www.pdmi.ras.ru/~theo/autossa>

Reconstitution des variations du niveau de la mer au cours des 7 derniers millénaires en Polynésie française à partir de l'étude de microatolls coralliens

Hallmann, N.¹, Camoin, G.¹, Eisenhauer, A.², Vella, C.¹, Samankassou, E.³, Botella, A.⁴, Milne, G.A.⁴, Pothin, V.¹, Dussouillez, P.¹, Fleury, J.¹



¹ Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, CEREGE UM34, Europôle Méditerranéen de l'Arbois, BP80, 13545 Aix-en-Provence cedex 4, France

² GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, Wischhofstraße 1-3, 24148 Kiel, Allemagne

³ Université de Genève, Rue des Maraichers 13, CH-1205 Genève, Suisse

⁴ Université d'Ottawa, Département des sciences de la Terre, Ottawa, Ontario, K1N 6N5, Canada



1. Objectifs

- Reconstitution des variations du niveau de la mer au cours des 7 derniers millénaires en Polynésie française à partir de l'étude de microatolls coralliens
- Contraintes des paramètres géophysiques (ex. processus hydro-isostatiques) qui affectent la position du niveau marin relatif. Cette étude contribuera à réduire les divergences d'une part entre les différents modèles de variations du niveau de la mer, et, d'autre part, entre les modèles de variations du niveau de la mer et les données de terrain.
- Extension de la courbe de niveau marin établie à Tahiti suite à l'expédition IODP 310 'Tahiti Sea Level', afin d'améliorer la modélisation: 1) du rebond isostatique durant la remontée du niveau de la mer au cours de la dernière déglaciation, et 2) des processus géophysiques régionaux (ex. "equatorial syphoning effect") qui dominent les variations du niveau de la mer au cours de l'Holocène moyen à supérieur dans les régions éloignées des zones préalablement englacées.

2. Région d'étude

- Six îles hautes (Bora Bora, Mangareva, Maupiti, Moorea, Raivavae, Tahaa) et six atolls (Fakarava, Hao, Makemo, Manihi, Rangiroa, Tikehau) de la Polynésie française (Fig. 1) → couvrir une région géographique vaste (S14–23°)
- Îles éloignées des zones préalablement englacées ("far field") → permet de minimiser l'influence du rebond glacio-isostatique et, ainsi, une meilleure estimation des variations eustatiques
- Îles tectoniquement stables au cours de l'Holocène moyen à tardif (mouvements tectoniques négligeables)
- Faible amplitude de marée (0.3-1.0 m) → reconstitution fiable des variations du niveau de la mer, incluant les oscillations de faible amplitude et de haute fréquence

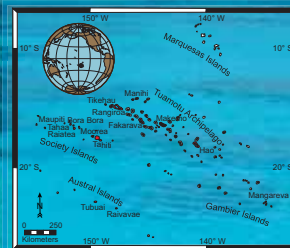


Fig. 1: Carte de la Polynésie française, Pacifique Centrale-Sud. Rouge: îles étudiées.

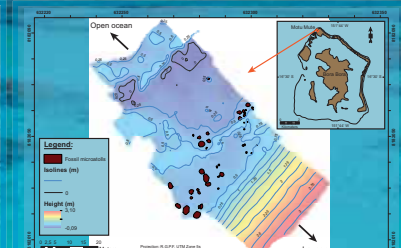


Fig. 5: Carte à haute résolution du site d'étude à Bora Bora.



Fig. 4: Méthodologie. A + B: La base et l'appareil mobile du système GPS Trimble R8 RTK (Real Time Kinematic) pour enregistrer la position des échantillons avec une précision verticale et horizontale de ± 2.5 cm et quelques millimètres, respectivement. C: Échantillonnage des colonies coralliennes pour l'analyse paléoclimatique au moyen d'une scie circulaire. D: Prise de photos pour générer les cartes 3D.

3. Matériel & Méthodes

- Indicateurs in situ du niveau de la mer (colonies coralliennes, notamment des microatolls), conglomérats à fragments de coraux et grès de plage ("beachrocks") (Fig. 2, 3)
- Microatolls: colonies coralliennes circulaires avec une croissance vers le haut limitée par le niveau de la mer → enregistreur de marée basse à haute précision (basse mer moyenne de vive-eau)
- Positionnement GPS vertical et horizontal des échantillons très précis par l'intermédiaire de mesures GPS Trimble R8 RTK (Fig. 4A + B)
- Référence altimétrique: NGPF (système de référence géodésique de la Polynésie française) et comparaison des altitudes des microatolls holocènes avec celle des microatolls modernes (zéro biologique)
- Échantillonnage de colonies coralliennes pour la reconstitution des paramètres paléoclimatiques (Fig. 4C)
- Imagerie 3D dans certaines zones (Fig. 4D)
- Cartographie très précise des sites étudiés au moyen du logiciel ArcGIS 10.1 afin de reconstituer la morphologie des récifs (Fig. 5)
- Mesures de la marée au moyen de sondes (Fig. 6)
- Analyses minéralogiques (Diffraction de rayons X) pour évaluer la préservation des échantillons, et datations radiométriques (U-Th) très précises par MC-ICPMS des 281 échantillons prélevés sur les douze îles étudiées (20: 3–87 ans, en moyenne 27 ans, n = 205)

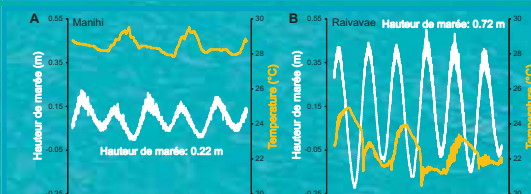


Fig. 6: Données des sondes de température et de marée. La hauteur de marée en mètres, RGPF, moins la pression atmosphérique. A: Enregistrement pour Manihi du 18 mai 2014, 17:15 au 21 mai 2014, 10:10. B: Enregistrement pour Raivavae du 29 avril 2014, 22:00 au 2 mai 2014, 20:45.

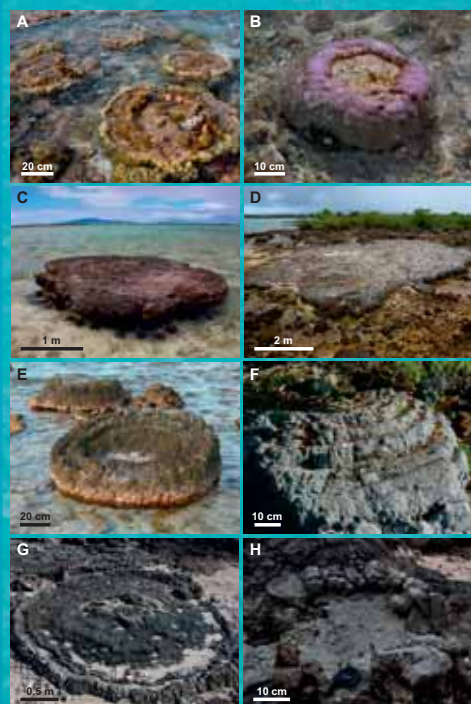


Fig. 3: Microatolls de *Porites*. A + B: Microatolls modernes (Manihi). C: Microatoll avec une surface plane indiquant un niveau de la mer stable pendant environ 200 ans (Bora Bora). D: Grand microatoll d'un diamètre de 8 m (Bora Bora). E: Microatoll dont la marge plus élevée reflète une augmentation du niveau de la mer durant sa croissance (Manihi). F: Microatoll dont la marge inférieure qui reflète une baisse du niveau de la mer durant sa croissance (Fakarava). G + H: Microatolls dont la surface est caractérisée par des ondulations reflétant des variations du niveau de la mer à haute fréquence (Maupiti).



Fig. 2: Indicateurs du niveau de la mer. A: Récif frangeant in situ (Manihi). B - D: Platier récifal holocène composé de colonies coralliennes branchées, principalement *Acropora* et *Pocillopora*, et microatolls de *Porites* (Maupiti, Bora Bora). E: Colonies de *Porites* en forme de dôme sur une plate-forme conglomératique à une hauteur de 0.5–1 m au-dessus du niveau marin actuel (Moorea). F: Corail branchu in situ couvert par les conglomérats (Moorea).

4. Résultats & Discussion

- Études précédentes: manque des données précises sur la position du niveau de la mer au cours des 7 derniers millénaires
 - Peu d'indicateurs précis du niveau de la mer, notamment les microatolls coralliens, ont été analysés
 - Absence de positionnement GPS précis et datations peu précises
- Microatolls holocènes ont été observés dans toutes les îles; certains montrent une surface supérieure plane, alors que d'autres sont caractérisés par une surface supérieure ondulée → arrêt du niveau marin relatif et oscillations du niveau de la mer à haute fréquence (Fig. 3)
- Composition des récifs modernes est similaire à celle des récifs de l'Holocène moyen et supérieur
- Distribution des faciès holocènes est similaire à celle des récifs modernes mais se situe dans une position différente: à environ 1 m au-dessus et à quelques dizaines de mètres latéralement au système récifal moderne
- Élévation du niveau de la mer de 1 mètre en amplitude: en 3000 ans au cours de l'Holocène moyen à supérieur contre 100 ans pour l'augmentation prédite pour le prochain siècle → les vitesses des variations du niveau de la mer semblent avoir un impact plus important sur les récifs coralliens que l'amplitude de ces variations
- À l'avenir les récifs coralliens pourraient suivre l'augmentation du niveau de la mer si une détérioration des conditions environnementales n'affecte pas les taux de croissance corallienne



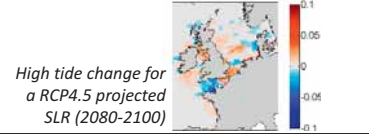
Sea-level rise impact on European shelf tide dynamics

Déborah Idier¹, François Paris¹, Gonéri Le Cozannet¹, Faiza Boulahya¹

1: BRGM, Orléans (France), d.idier@brgm.fr

Highlights

- Sea-level rise (till +2m) effect on tide changes is linear over most of the shelf
- High tide water level changes range between -15% and +15% of sea-level rise
- Tide is weakly dependent on sea-level rise non-uniformity
- The German Bight is strongly sensitive to coastal defense strategies
- Tide level change patterns differ from the M2 amplitude change patterns



Research Questions

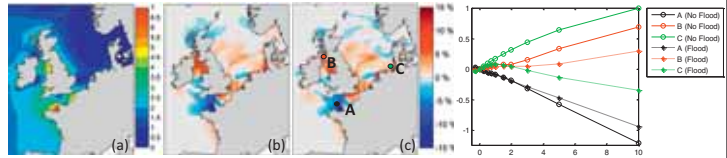
Total water level including: tide (T) & surge (S) for a sea-level rise SLR=0; sea-level rise (SLR); interaction terms (I)

$$\xi_{SLR} = \xi_{T,0} + \xi_{S,0} + SLR + I(\xi_{T,0}; \xi_{S,0}; SLR)$$

Tide as a function of present tide and SLR

$$\xi = \xi_{SLR} - SLR = \xi_{T,0} + I(\xi_{T,0}; 0; SLR)$$

Absolute value for SLR=0 (a) and relative changes of the maximum water level ($\Delta \xi_{max} / SLR$) for SLR=+2m (b) et +5m (c), and $\Delta \xi_{max}$ versus SLR at 3 locations



- ➔ (Q1) What is the influence of the SLR on water levels ξ in terms of linearity, stationarity, and tidal components contributions?
- ➔ (Q2) Are the results affected by different plausible coastal defence strategies or if regionally variable SLR-scenarios are considered?

Method

Numerical modeling: MARS shallow-water model (Ifremer), FES2004 (boundary conditions, LEGOS), gtopo30 (topography, USGS), computational grid from Island to mid-Portugal with 2km grid size, validation / 12 tide gauges, 1-year simulation (2009).

Tidal component analysis: Tidal Toolbox (LEGOS), the 12 largest ones are retained.

Stationarity & Linearity within the investigated SLR range:

- Stationarity: $\text{Sign}(\Delta \xi_{max} / SLR) = \text{cst}$
 - Linearity: (1) $\text{Sign}(\Delta \xi_{max} / SLR) = \text{cst}$, (2) strong and significant correlation between $\Delta \xi_{max}$ & SLR ($r > 0.9$, $p\text{-value} < 0.05$), (3) small $\text{std}(\Delta \xi_{max})$.
- ➔ The regression coefficient (called $a_{\xi_{max}}$ such that $\Delta \xi_{max} = a_{\xi_{max}} \times SLR$) is plotted and analysed in the linearity areas.

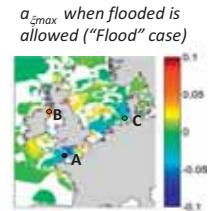
Default case: uniform SLR, infinitely high coastal defenses at shoreline, SLR ranging from -0,25m to +2m.

Impact of coastal defence strategy

➔ As in previous studies, tidal changes appear sensitive to coastal flood defences.

➔ Two large areas appear very sensitive to coastal defence strategy: Eastern North Sea (point C) and Celtic Sea.

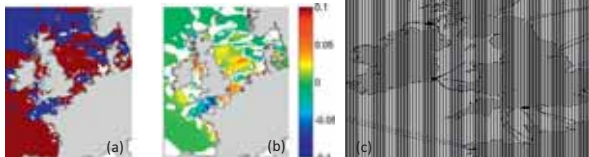
➔ Areas very weakly sensitive to the coastal defence strategy where the maximum tidal water level is (1) increasing with SLR (Northern Irish Sea, point B), (2) decreasing with SLR (Western English Channel, point A; region of Portsmouth).



Impact on water level

Changes of ξ_{max} versus SLR:

- (a) Stationarity (blue: $a_{\xi_{max}} < 0$; brown: $a_{\xi_{max}} > 0$)
- (b) $a_{\xi_{max}}$ coefficient
- (c) M2-Phases for SLR=0 and 5 m.



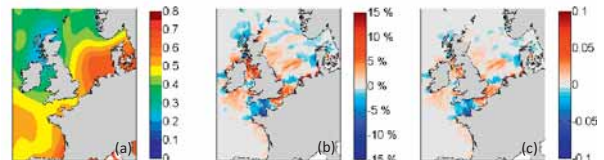
- ➔ The maximum tidal water level vary linearly with SLR in most of the domain till at least SLR=+2 m.
- ➔ Exceptions are mainly related to amphidromic point migration.
- ➔ High tide water level changes range between -15% and +15% of SLR, with two main areas: (1) a decrease in the Western English Channel, (2) an increase in the Irish Sea, Southern North Sea and German Bight.

Impact of SLR spatial variability (RCP4.5, 2080-2100)

(a) Non-uniform SLR (in meters) for RCP4.5 scenario (2080-2100), based on (Slangen et al., 2014).

(b) Relative (to local SLR values, %) changes of maximum water level ξ_{max}

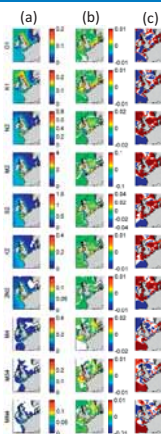
(c) Absolute change (in meters).



- ➔ Tidal changes relative to local SLR values induced by the spatially variable SLR appears very similar (patterns and relative values) to the ones obtained assuming uniform SLR.
- ➔ Even if most of the modelling studies rely on the assumption of SLR spatial uniformity, they still provide results not very sensitive to this assumption, at least in some areas and for the tested non-uniformity shape.

Impact on tidal components

- (a) Amplitude (in meter) of tidal components CST for the control scenario (SLR=0m) (amplitudes smaller than 0.01 m are in white)
- (b) Coefficients a_{CSTamp} for areas of stationarity and linearity
- (c) Correlation coefficient between $\Delta \xi_{max}$ and ΔCST_{amp} ($p\text{-value} < 0.05$).



- ➔ The largest amplitude changes are observed for M2, S2, N2, M4 and MS4 tidal components.
- ➔ Tidal water level changes appear not exactly similar to the ones of M2 components
- ➔ The tidal components amplitudes vary linearly with SLR in most of the domain till at least SLR=+2 m.
- ➔ Exceptions are mainly related to amphidromic point migration.

Conclusions

(Q1): when assuming land protected from flood, the tidal components and the maximum tidal water level vary linearly with SLR in most of the domain till at least SLR=+2 m, the exceptions being mainly related to amphidromic point migration. High tide water level changes range between -15% and +15% of SLR.

(Q2): as in previous studies, tidal changes appear sensitive to coastal flood defences. The present study highlights possible areas very weakly sensitive to the coastal defence strategy. In terms of effect of the SLR uniformity assumption, the tested non-uniform scenario shows that tidal changes relative to local SLR values induced by non-uniform SLR appears very similar to the ones obtained assuming uniform SLR.

Acknowledgements: BRGM for funding, IFREMER for the permission to use the MARS code, LEGOS for providing the Tidal Toolbox, SHOM for the tidal predictions (SHOMAR), USGS for providing topographic data (gtopo30), C. Oliveros and L. Pineau-Guillou for fruitful discussion.

Reference: Idier et al., Sea-level rise impact on European shelf tide, Continental Shelf Research (in revision).

ANR-2014 SPICy



Mise au point d'un Système de Prédiction expérimental des Inondations marines et fluviales d'origine Cyclonique

Un projet de recherche sur 3 ans (2014-2017) coordonné par le BRGM en partenariat avec Armines-LGEI, BRL Ingénierie, le LACy et Météo-France Océan-Indien

CONTEXTE

Avec ses Territoires d'Outre-Mer, la France est présente dans trois bassins d'activité cyclonique. Les services de l'Etat sont régulièrement confrontés à des situations de gestion de crise cyclonique.

A ce jour, il n'existe pas de système de prédiction des inondations marines et fluviales pour les Territoires d'Outre-Mer.



AXES DE TRAVAIL

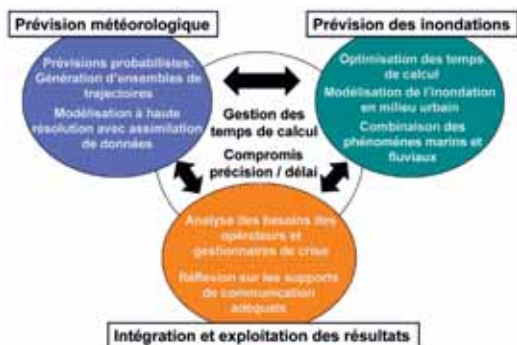
Un projet appliqué tourné vers des besoins opérationnels

SPICy propose une approche holistique permettant d'aborder simultanément différents défis de la prédiction des inondations d'origine cyclonique :

- ✓ L'estimation des incertitudes grâce à la mise en place d'une approche ensembliste;
- ✓ L'amélioration de la prédiction des précipitations grâce à la modélisation météorologique à haute résolution avec prise en compte de l'orographie et assimilation de données;
- ✓ La mise en place d'outils permettant la fourniture d'informations et/ou de prévisions sur les risques d'inondation marine et fluviale, notamment en zone urbaine;
- ✓ La prise en compte de la combinaison des inondations marines et fluviales au niveau des embouchures;
- ✓ La gestion des temps de calcul et l'exploration de techniques d'optimisation;
- ✓ Une réflexion sur les besoins concrets des opérateurs en charge des risques et de la gestion opérationnelle des crises (EMZPCOI, DEAL, Région, Communes) afin de mieux définir la nature et les processus de production des informations utiles en période de crise.
- ✓ La création d'interfaces utilisateurs, pour améliorer la pertinence des informations fournies aux gestionnaires de crise.

La prédiction des inondations d'origine cyclonique dans les Territoires d'Outre-Mer soulève différents challenges car ces derniers sont situés sur des îles volcaniques présentant :

- (1) Une orographie escarpée et complexe;
- (2) Un réseau hydrographique dense et des cours d'eau à régime torrentiel;
- (3) Une absence de plateau continental qui expose le littoral aux fortes houles et aux franchissements par paquets de mer;
- (4) Une interaction complexe entre les apports marins et fluviaux.



A l'issue du projet, un démonstrateur sera réalisé et plusieurs exercices de crise impliquant les opérationnels des communes et de la sécurité civile permettront de tester la pertinence et l'applicabilité des différents développements du projet.

APPLICATIONS ET PERSPECTIVES

- ✓ Compléter les informations mises à disposition des services de l'Etat et les messages de vigilance (ajustement des niveaux de vigilance, communication sur les conditions de circulation, etc.)
- ✓ Mieux anticiper la mise en œuvre d'actions préventives (mise en sécurité des personnes et des biens, évacuation des zones exposées, fermeture des axes de communication, etc.).



Certains développements du projet sont destinés à être intégrés ultérieurement dans des services opérationnels comme celui du RSMC Météo-France La Réunion.

SITES LOCAUX

Les problématiques:

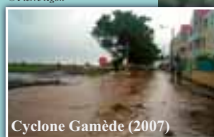
- ✓ Franchissements par paquets de mer
- ✓ Crues
- ✓ Fermeture des embouchures par l'action des vagues
- ✓ Combinaison crue / surcote marine au niveau des embouchures

La route du littoral



Cyclone Bejisa (2014)

Commune de Sainte-Suzanne



Cyclone Gamède (2007)

Commune de Saint-Paul



Cyclone Bejisa (2014)



<http://spicy.brgm.fr>

Impacts de niveaux d'eau extrêmes sur deux villes portuaires de la Manche et Mer du Nord : Le Havre et Dunkerque

Aurélie MASPATAUD^{1,2}, Sylvain ELINEAU^{3,4}, Anne DUPERRET³, Marie-Hélène RUZ¹, Pascal MALLET^{5,6}

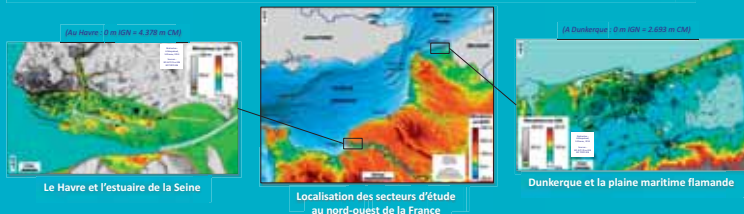
¹ UMR 8187 LOG, Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences, Université du Littoral Côte d'Opale, 32 Avenue Foch, Wimereux 62930, France.
² SHOM, Service hydrographique et océanographique de la marine, 15 rue du Calvair, 92226 Breck cedex 2, France.
³ UMR 8228 CNRS-UMC, Laboratoire Océans et Météo Complexes, Université du Havre, 53 rue de Broen, 76083 Le Havre Cedex, France.
⁴ UMR 8591 LGE, Laboratoire de Géographie Physique - Environnements quaternaires et actuels, Université de Paris 1 et UPEC à la place Aristide Briand, 91256 Meudon cedex, France.
⁵ Communauté de l'Agglomération Havraise (CODAH) Direction pour l'Information sur les Risques Majeurs (DIRM), 19 rue Georges Braque, 76085 Le Havre Cedex, France.
⁶ Office des Risques Majeurs de l'Étude de la Seine (ORMES), Hôtel d'Agglomération, 19 rue Georges Braque, 76085 Le Havre Cedex, France.

Contacts :
a.maspataud@gmail.com
sylvain.elineau@gmail.com



UNESCO (Paris)
 2-4 février 2016

Contexte d'étude en Manche orientale et Mer du Nord méridionale



Ces deux territoires à enjeux ont en commun :

- (1) Une faible élévation
- (2) Des territoires poldérisés et des espaces naturels
- (3) Une forte densité de population
(6 fois supérieure à la moyenne nationale des communes littorales de 315 hab/km² - INSEE, 2005)
- (4) La présence de biens, d'activités et d'infrastructures
(administratives, touristiques, portuaires, industrielles...)
- (5) De nombreux aménagements anthropiques
(digues, épis, jetées, perrés)
- (6) Une gestion hydraulique particulière
- (7) Un marnage macrotidal
(Au Havre : 6,75 m en VE_{max} (coeff. 95) et 3,75 m en ME_{min} (coeff. 45) ;
 à Dunkerque : 5,45 m en VE_{max} (coeff. 95) et 3,50 m en ME_{min} (coeff. 45) (SHOM, 2013))
- (8) Une vulnérabilité aux conditions météorologiques, énergétiques voire extrêmes
(sensibilité accrue aux flux d'eau portuaires au Havre / aux perturbations de Mer du Nord à Dunkerque)

- Des débordements des bassins portuaires
- Une saturation du réseau d'évacuation souterrain
- L'apparition de résurgences hydrauliques en zones basses urbaines, connectées directement, ou non, aux bassins

Le Havre Dunkerque

Principaux aléas recensés

- Des submersions marines (franchissement) sur le front de mer
- Un recul du trait de côte et un démaigrissement des plages
- Des inondations urbaines en raison de problèmes de drainage et d'évacuation des eaux du polder (wateringues)

Cas historiques



Événements	Coeff.	Marnage		Pression atmosphérique		Vents		
		Hauturs d'eau prédites (m CM)	Surcote à PM (m)	Minimum barométrique (hPa)	Direction	Vitesse max (m/s)	Retour (ans)	
13-14 déc. 1981	102	8.09	0.87	0.97	8.56	980	OSO	15
30 janv. 1988	102	8.13	0.92	0.86	8.25	1007	NO	15-20
23-24 nov. 1984	102	7.95	1.38	1.40	9.28	887.2	SO	15-25
Conditions de débordement	>100	>7.90	>0.80	-	>8.95	-	O	>15

Événements	Coeff.	Marnage		Pression atmosphérique		Vents		
		Hauturs d'eau prédites (m CM)	Surcote à PM (m)	Minimum barométrique (hPa)	Direction	Vitesse max (m/s)	Retour (ans)	
20 fév. de février 1953	4.50	>2.95	2.40	7.90	N/O	NO	30	
11-13 janv. 1978	813 à 1018	6.15	1.15	1.64	7.30	979	N/NE	29
9 nov. 2007 (Tilo)	76	5.76	1.20	2.16	6.84	1011	N/O	16
10 février 2009 (Quintin)	105	6.12	0.72	0.72	6.84	975	N/O	18
1-6 déc. 2013 (Xavier)	102	6.17	1.26	2.35	7.43	1015	O/NO	15
Conditions de franchissement	>75	>5.50	>0.72	-	>6.84	-	N/NO	>15

Débordements et inondation directe, très localisés au sud du quartier Saint-François
 Débordement au NE du bassin du Commerce (1-1h20)
 - Accumulation d'eau de débordement
 - Saturation du réseau hydraulique souterrain
 - Résurgence au niveau des zones les plus basses

Érosion d'une plage à l'Est de Dunkerque
 Impossible d'évacuer les eaux infiltrées à basse mer (barrage 24h)
 Retour de l'eau à haute mer (barrage 24h)

Modifié d'après Elineau (2013)

Périodes de retour de quelques surcotes record au Havre (Pirazzoli, 2006) :

- 1.70 m le 15 oct. 1987 : P_{retour} = 20 ans
- 1.90 m le 22 janv. 1988 P_{retour} = 70 ans
- 2.02 m le 25 janv. 1990 : P_{retour} = 135 ans

Modifié d'après Maspataud et al. (2013)

Périodes de retour de quelques surcotes record à Dunkerque (Pirazzoli, 2006) :

- 2.16 m le 9 nov. 2007 : P_{retour} = 60-70 ans
- 2.18 m le 3 janv. 1976 : P_{retour} = 72 ans
- 2.40 m le 1er févr. 1953 : P_{retour} > 100 ans

Niveaux extrêmes potentiels : scénarios

Modifié d'après Elineau (2013)

Scénario n°1 :
 Mêmes conditions de marée que le 23-24/11/1984 avec la présence des murs de protection
 → 9,28 m CM (1984) = 15,5 km² de la ville basse potentiellement inondés
 → P_{retour} > 100 ans (Pirazzoli, 2006 ; SHOM-CETMEF, 2012)

Scénario n°2 :
 Hypothèse d'une surcote de 2 m, se produisant à pleine mer, dans les mêmes conditions de marée que le 23-24/11/1984 (Coeff. 102 ; CM prédite = 7,95 m)
 → Cote maximale potentiellement atteinte = 9,95 m CM
 → P_{retour} > 1000 ans (Pirazzoli, 2006)

Scénario n°3 :
 Hypothèse de la pire combinaison des paramètres atmosphériques et océaniques, soit un niveau de 8,40 m CM (PMVE exceptionnelles = coeff. 120) + la surcote maximale au Havre de 2,0 m (surcote maximale enregistrée au Havre ; Pirazzoli et al., 2006 ; 2007)
 → Cote maximale potentiellement atteinte : 10,40 m CM (+ 0,90 m au dessus des murs de protection) = 35,5 km² de la ville basse potentiellement inondés
 → P_{retour} > 1000 ans (Pirazzoli, 2006)

Les niveaux > 8,60 m CM sont rares (32 événements depuis 1972) et généralement non suffisants pour un débordement si l'agitation est faible.

Modifié d'après Maspataud et al. (2013)

Scénario n°1 :
 Hypothèse d'une surcote de 2,16 m, se produisant à pleine mer, dans les mêmes conditions de marée que le 9/11/2007 (marnage de VE moyennes = coeff. 75 ; cote marine prédite = 5,76 m)
 → Cote maximale potentiellement atteinte = 7,92 m CM
 → P_{retour} > 100 ans (Pirazzoli, 2006 ; SHOM-CETMEF, 2012),
 P_{retour} (2050) = 50 ans et P_{retour} (2100) < 50 ans (Lowe et Gregory, 2005)

Scénario n°2 :
 Si une telle surcote (2,16 m) se produisait à pleine mer, lors d'une grande marée (PMVE exceptionnelles = coeff. 120 ; cote marine prédite = 6,34 m)
 → Cote maximale potentiellement atteinte = 8,50 m CM
 → P_{retour} > 100 ans (Pirazzoli, 2006 ; SHOM-CETMEF, 2012),
 P_{retour} (2050) > 100 ans et P_{retour} (2100) = 50 ans (Lowe et Gregory, 2005)

De nouvelles zones résidentielles bâties à faible altitude (7,49 et 7,79 m CM), en bordure même du port Est de Dunkerque pourraient être touchées.

En cas de saturation des canaux d'évacuation ou de brèches, plusieurs secteurs bas de la ville pourraient être inondés, comme cela s'est produit en 1953 (Maspataud, 2011 ; Maspataud et al., 2013).

Références bibliographiques

Chappé R., Coullé N., Lemerlet J., Marnat J. (2013). Les communes littorales de la Manche de la fin du 19^{ème} au 21^{ème} siècle. Mémoire de l'Institut Français de l'Évaluation des Risques Majeurs (IFERM), 215, p. 115-132.

Elineau S. (2013). Le risque naturel côtier sur le littoral communautaire de la Seine-Normandie. Note de synthèse des études, Thèse de doctorat de l'Université du Havre, 376p.

Lowry J.A., Gregory J.M. (2005). The effects of climate change on storm surges around the United Kingdom. Philos. Trans. R. Soc., 363, p. 1313-1325.

Maspataud A. (2011). Impacts des tempêtes sur la morphodynamique littorale côtière en milieu urbanisé. Thèse de Doctorat, Géographie, Paléogéographie, Océanographie, Université du Littoral Côte d'Opale, 470p.

Maspataud A., Ruz M.H., Vannière S. (2013). Potential impacts of extreme storm surges on a low-lying densely populated coastline: The case of Quiberon basin, Northern France. Natural Hazards, Volume 66, Issue 3, p. 1327-1343.

Pirazzoli P.A. (2006). Paper Oceanic Contribution to the 1987-88 coastal erosion and flooding of the English Channel. Ocean Dynamics, 56, p. 498-511.

Pirazzoli P.A., Coullé N., Durrant J. (2009). Flood threat anomaly for the low coastal areas of the English Channel based on analysis of recent observations. Ocean Dynamics, 59, p. 591-593.

Pirazzoli P.A., Coullé N., Durrant J., Tomassini A. (2008). Recent evidence of high-frequency events and associated erosion along the coast of the English Channel. Ocean Dynamics, 58, p. 498-511.

SHOM (2013). Données atmosphériques maritimes. Paris de France météorologie et éclipse-mer. Edition 2013, 112p.

SHOM-CETMEF (2012). Statistiques des tempêtes maritimes exceptionnelles de France (Manche et Atlantique). 180 p.

Conclusion

Sur ces deux territoires, certains événements météo-marins récents auront pu avoir des conséquences beaucoup plus graves, notamment s'ils avaient eu lieu lors d'une marée d'équinoxe.

Malgré des aménagements destinés à réduire le risque d'inondation (murs de protection au Havre depuis les années 1980) et le risque d'endommagement des ouvrages (rechargements de plage à Dunkerque en 2013 puis 2014), l'aléa submersion marine est toujours présent dans le cas d'occurrence de niveaux d'eau extrêmes par combinaison défavorable de différents facteurs : météorologiques, anémométriques, hydrodynamiques, topographiques et hydrauliques.

Dans le contexte actuel de changement global et l'élévation prévue du niveau de la mer, il reste important pour les autorités locales de prendre en compte les impacts potentiels et les périodes de retour de tels événements, afin de mettre en œuvre des mesures de prévention des risques, des politiques de gestion côtière, et d'augmenter l'efficacité des systèmes hydrauliques.

Depuis plusieurs années, les acteurs locaux s'engagent donc dans une stratégie globale qui, au delà des mesures de protections, porte sur l'amélioration des connaissances, les mesures organisationnelles, la gestion hydraulique, la prévention et le développement de la culture des risques en cohérence avec la démarche de Territoire à Risque Inondation.



Ces travaux ont bénéficié d'un soutien financier (1) de la CODAH (Communauté de l'Agglomération Havraise) pour les travaux réalisés au LOMC (Université du Havre), et (2) de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) au travers du programme VMC (projet VULSCO, n° ANR VMC06-009) pour les travaux effectués au LOG (Université du Littoral).



Les observations des marégraphes du Havre et de Dunkerque sont la propriété du SHOM, respectivement du Grand Port Maritime du Havre et du Grand Port Maritime de Dunkerque, et sont mises à disposition sur le site des Réseaux de référence des observations marégraphiques (refmar.shom.fr).

Contribution de la surcote liée aux vagues dans les niveaux d'eau à la côte en milieu microtidal

Alexandre Nicolae Lerma¹, Sylvain Elineau^{1,2}, François Paris¹, Rodrigo Pedreros¹

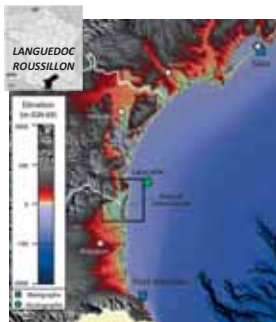
¹ BRGM, Direction Risques et Prévention, Unité Risques Côtiers et Changement Climatique, Orléans
² Laboratoire de Géographie Physique UMR 8591



Site d'étude

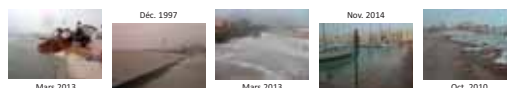
- Le Languedoc-Roussillon est caractérisé par un littoral généralement bas, constitué de vastes systèmes lagunaires. Ces côtes ont été massivement aménagées lors de la mission RACINE (1963), ce qui a eu pour effet de modifier le fonctionnement des lagunes du fait de l'artificialisation des passes (graus) et de la fixation des cordons sableux à l'interface entre la terre et la mer (lido).
- L'étang de Salses-Leucate (14 km NS et 6 km EO) s'étend sur deux départements (Aude et Pyrénées Orientales). Trois graus aménagés permettent la circulation des eaux avec la mer, le plus important étant situé au fond du port de Port Leucate. Sur le territoire de la commune de Leucate, l'altitude du lido est en moyenne de 2-3 m et n'excède pas 5 m NGF. Sa largeur est comprise entre 0,50 à 1,5 km.

Localisation du site d'étude et des stations de données



Problématique

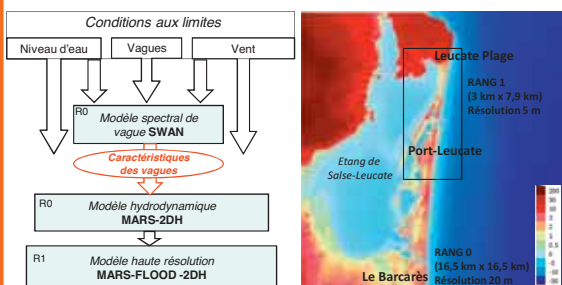
- La zone d'étude est régulièrement affectée par des tempêtes intenses (7 depuis 1997) pouvant entraîner des submersions de différentes natures (débordement, franchissement par paquet de mer, rupture d'ouvrage).
- Lors d'un même événement, les niveaux d'eau atteints sur les différents secteurs du littoral (plage, port, passes, lagune) connaissent des différences notables et susceptibles de favoriser différents types de submersion. Ces différences sont notamment dues à la surélévation liée aux vagues (wave setup).



Dans les zones affectées par les submersions, dans quelle proportion la surcote liée aux vagues contribue-t-elle à la surélévation du niveau moyen lors des tempêtes ?

Méthode : Simulation des niveaux d'eau

- Afin de simuler les variations du niveau d'eau, une chaîne de modèles a été mise en place. Elle a pour but l'intégration de l'ensemble des phénomènes contribuant à la surélévation du niveau d'eau sur le littoral lors des tempêtes et les interactions vagues-niveaux-courants.



- Le modèle SWAN (Booij et al., 2008) permet de simuler la propagation des vagues du large à la côte en tenant compte des interactions des vagues entre elles et de la bathymétrie ainsi que de déterminer les courants et la surélévation du niveau moyen (wave setup) lors du déferlement.
- Le modèle MARS2DH (Licence IFREMER, Lazure et Dumas, 2008) permet de simuler les conditions hydrodynamiques associées aux conditions aux limites (niveau d'eau, vagues, vent) et de les propager vers la terre. Il permet également de propager les écoulements à terre, potentiellement sous forme d'inondation par débordement ou suite aux défaillances d'ouvrages de protection côtière.

L'évènement du 4 au 8 mars 2013

L'évènement de mars 2013 a été retenu afin d'illustrer le rôle du wave setup dans les niveaux à la côte. Cette tempête a été caractérisée par :

- des conditions atmosphériques de forte intensité mais représentatives d'évènements assez récurrents sur ce littoral (Pr ≈ 5 ans)
- de fortes conditions de houle (Pr ≈ 10 ans) au houlagraphe de Leucate

Niveau d'eau (Marée + surcote)

Les données utilisées pour les simulations sont celles du marégraphe de Sète couvrant la plus grande chronique régionale.

Afin d'évaluer la marge d'erreur relative à l'utilisation de ces données pour le site de Leucate, une comparaison avec les données de Port-Vendres a été réalisée pour la période de tempêtes récentes (2007-2015) et présente des différences moyennes de l'ordre de 5 cm et au maximum de +/- 20 cm.

Niveaux d'eau relativement homogènes régionalement. Surcote maximale au pic de 40 cm à Sète.



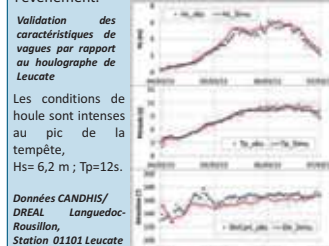
Vent

Lors du pic de la tempête, les vents locaux enregistrés au sémaphore de Leucate sont compris entre 75 et 90 km/h et d'orientation ESE-E ce qui correspond à un régime classique de tempête pour le site d'étude.

Vagues

Les conditions de vague imposées aux limites du modèle (Hs, Tp, Dp, Etal) sont issues du modèle IFREMER MEDNORD, code WWIII, résolution 0,5°x0,5°. Les conditions de vent homogènes ont été imposées sur l'étendue du domaine à partir des observations de vents moyens locaux.

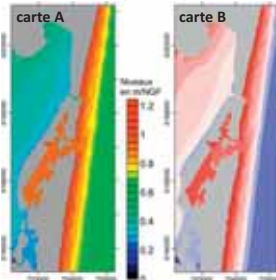
Les résultats montrent une bonne reproduction des conditions de vagues au large du site pour l'ensemble de la durée de l'évènement.



Contributions au niveau d'eau relatif

- Les simulations réalisées permettent de reproduire depuis les limites en mer du modèle jusqu'au littoral, les conditions de niveaux d'eau (marée + surcote atmosphérique), l'action des vents locaux (wind setup) et l'interaction avec les conditions de vagues. A l'approche du littoral, sur une bande de 200 à 300 m, la surélévation liée à l'action des vagues (wave setup) se manifeste avec des caractéristiques différentes sur le littoral directement exposé aux vagues et sur les zones plus abritées (carte A).
- La contribution apportée par le vent locaux et le déferlement des vagues au niveau total à la côte est représenté lors du pic de l'évènement (carte B). A noter que les valeurs légèrement négatives au large témoignent du set down.

Niveaux d'eau maximum simulés et contribution de la surélévation due au vent et aux vagues lors du pic de l'évènement



Contributions du vent local et des vagues à la surélévation du niveau d'eau et carte de localisation des valeurs extraites

L'action des vents locaux et des vagues est illustrée ici lors de l'intensification de la tempête.

Dans le port, le wind setup atteint jusqu'à 5 cm (<2 cm dans l'avant-port), alors que le wave setup est de l'ordre de 25 cm +/- 2 cm dans l'ensemble du port. Sur les plages, la wind setup est inférieure à 5 cm et la variabilité spatiale inférieure à 1 cm. Le wave setup est lui de l'ordre de 40 cm avec une variabilité spatiale allant jusqu'à 5 à 10 cm.

Conclusion

Au travers de cet exemple sur le site de Leucate, on constate par la modélisation couplée niveaux-courants-vagues que la contribution de la surélévation due aux vagues est déterminante dans l'étude des niveaux à la côte. Lors de l'évènement de mars 2013, elle a représenté un peu moins d'un tiers de la surélévation totale du niveau moyen dans le port (25 cm), et jusqu'à plus de la moitié sur les plages (40 à 50 cm). La prise en compte de cette contribution et de son hétérogénéité spatiale est donc indispensable afin de produire une représentation réaliste de l'aléa de submersion par débordement. En effet, les niveaux obtenus sur les plages ne peuvent être directement extrapolés au port et réciproquement sous peine d'une évaluation imprécise de l'aléa.



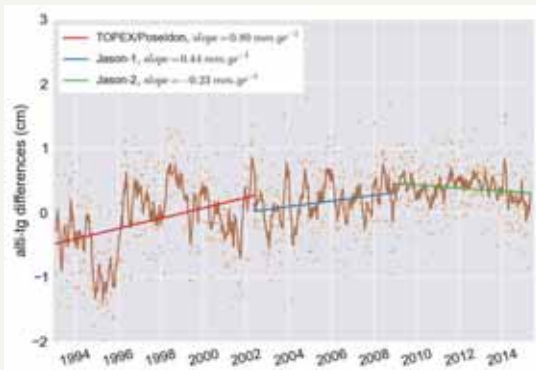
Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet CRISSIS 2015-2017 financé par le CSFRS. Des remerciements sont adressés à l'ensemble de l'équipe projet.

Comparing tide gauges and satellite altimetry: errors and uncertainties

P. Prandi, G. Valladeau, M. Ablain
 Contact: pprandi@cls.fr



Background & Goals



Evolution of Global SSH differences between altimetry and tide gauges for TOPEX/Poseidon, Jason-1 and Jason-2 missions

- Global mean sea level rise is an essential climate indicator,
- Altimeters measure sea level rise since ~1993 and show an increased rate of rise compared to measurements from tide gauges over the previous century,
- Tide gauges are used as an external, independent benchmark for validation
- The GCOS Climate User Requirement on the Global MSL trend accuracy is **0.3 mm/yr over 10 years**,
- Several groups have estimated uncertainty on altimeter/tide gauges comparisons: **0.4 mm/yr** (Leuliette et al., 2004; Watson et al., 2015); **0.7 mm/yr** (Valladeau et al. 2012)

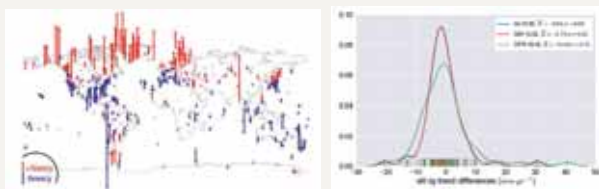
We are currently not able to demonstrate that the Climate User Requirements are met, mainly due to remaining uncertainties on tide gauges data

- There is a need to refine uncertainty estimations for such comparisons.
- Here, we review error sources and try to quantify associated uncertainties,
- This may lead to user-driven requirements for the implementation and evolution of in-situ networks dedicated to the validation of future satellite altimetry missions.

Error sources & related uncertainties

Vertical Land Motion

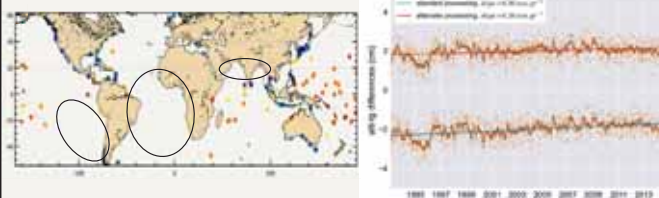
- Tide gauges relative sea level measurements are directly affected by local vertical land motion,
- Without precise monitoring (GPS, DORIS) we cannot correct for such movements,
- Even when GPS velocities are available, we are not able to demonstrate an improvement (spread of trend differences unchanged): we should question the linearity assumption
- uncertainty is evaluated to **0.3 mm/yr** (lower bound)



[left] Vertical velocities of GPS stations in ITRF2016 solution
 [right] distribution of SSH trend differences using different VLM solutions

In-situ geographical distribution and ensemble mean

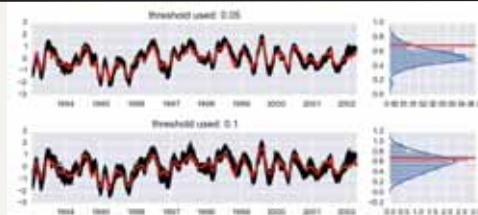
- Tide gauge data availability is limited in space and time,
- Basic QC results in large unobserved areas,
- Increasing the number of stations helps reduce uncorrelated errors,
- Homogeneous coverage will increase the robustness of global altimeter drift estimations
- Different averaging schemes (correcting for station density or not) might introduce artefacts
- uncertainty is evaluated to **0.15 mm/yr**



[left] map of the GLOSS tide gauges network used in a global analysis
 [right] two global average time series using different ensemble averaging strategies

Network sensitivity

- Test small random changes in the in-situ network used,
- Represents random unavailability of stations,
- Even small changes can lead to large impacts,
- Uncertainty estimated to **0.4 mm/yr**,



Impact of small changes of the in-situ network (5 and 10% of stations removed) on the global average trend

Conclusions

- Current errors in altimetry/tide gauges comparisons prevent from establishing that altimeter data meets the GCOS Climate User Requirements,
- A quick review of errors leads to a **0.7 mm/yr** uncertainty
- Work is still needed to improve tide gauges network and comparison methods for the validation of future altimetry missions

Error	Uncertainty
VLM	0.3/0.5 mm/yr
Regression CI	0.2 mm/yr
Averaging	0.15 mm/yr
Network	0.4 mm/yr
Total (RSS)	0.7 mm/yr



Journées REFMAR, 2-4 Février 2016, Paris



Cross-validation of altimetry and tide gauges measurements of sea surface height

P. Prandi, G. Valladeau, M. Ablain
 Contact: pprandi@cls.fr



Background & Goals

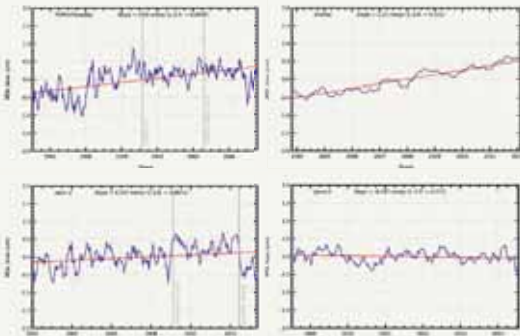


Fig. 1. Evolution of Global MSL differences between altimetry and tide gauges for TOPEX, ENVISAT, Jason-1 and Jason-2

- Validation and quality assessment of satellite altimetry data is essential to deliver useful data to end users.
- Validation of satellite altimetry data is based on a set of statistical tests that can be divided in three categories:
 - Intrinsic assessment of one altimeter mission
 - Cross comparisons between two missions
 - Comparisons to external, independent measurements
- As external and independent in-situ datasets, tide gauges provide time series of sea level measurement for the validation of satellite altimetry data, either at dedicated calibration sites (e.g. Bonnefond *et al.*, 2010) or using global analyses (e.g. Valladeau *et al.*, 2012),
- The GCOS Climate User Requirement on the Global MSL trend accuracy is **0.3 mm/yr over 10 years**,
- For current comparisons between altimetry and tide gauges, the altimeter drift detection threshold is **~0.7 mm/yr**
- Global comparisons between a large set of tide gauges and different satellite altimetry missions allow for a **cross-validation** of sea surface measurements.

Comparison methodology & validation results

Comparison process

- Key points of the comparison process are:
 - Correlation maps are estimated for each tide gauge station,
 - Collocated satellite altimetry time series are extracted at the maximum of correlation,
 - Checks on data availability, RMS of differences and the distribution of SSH differences are used to reject the station from the global analysis,
 - An ensemble average is estimated, with weighting based on the density of tide gauges stations.

Results

The main output of the process is a time series of global SSH differences between altimetry and tide gauges. Time series are altimetry mission-wise (see Fig. 1.) and routinely evaluated for ENVISAT, ERS-2, TOPEX/Poseidon, Jason-1, Jason-2 and SARAL/AltiKa. These time series are used to estimated long-term drifts or jumps in altimeter records.

Local (tide gauge station wise) results are also summarized in information cards. They provide at a glance all the information on a given station:

- Geographical and network information,
- Metrics estimated from SSH collocation with altimetry,
- Taylor diagram,
- Correlation maps,
- Time series of SSH and SSH differences,
- Seasonal cycle,
- Results of a structural change test.

The cards allow for an easy visual assessment of the quality of tide gauges stations, and are used to validate in-situ time series. For example, if all time series of altimeter/tide gauges SSH differences display a shift, then the tide gauge should be questioned.

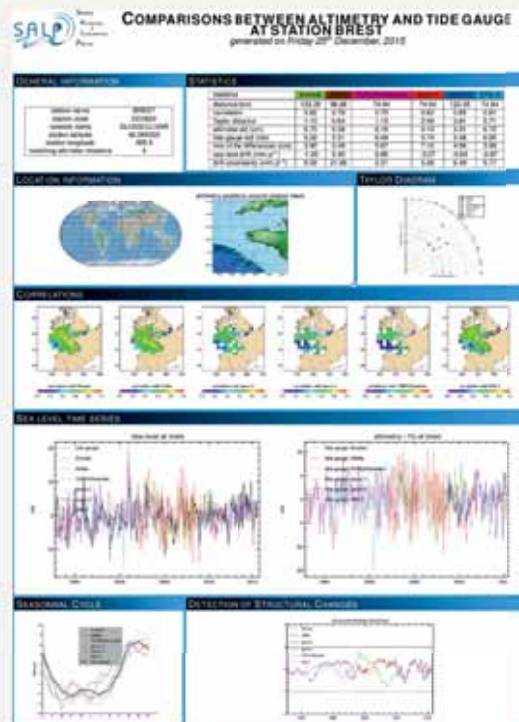


Fig. 2. Information card for Brest tide gauge station

Conclusions

- Comparisons to tide gauges are an important part of the validation of satellite altimetry data, and we still need to reduce the associated error budget.
- Cross comparisons can provide valuable information on in-situ data quality, compensating for the lack of QC at some stations. In-situ information cards are freely available through <http://www.aviso.altimetry.fr/fr/donnees/calval/in-situ-calibration-and-validation/in-situ-global-statistics.html>
- Work is ongoing to automatically derive a quality flag for tide gauge data based on comparisons to altimetry data.

References

- Valladeau *et al.*, Comparing altimetry with tide gauges and Argo profiling floats for data quality assessment and mean sea level studies, 2012, *Marine Geodesy*, Vol. 35, Supp 1.
- Bonnefond *et al.*, Absolute Calibration of Jason-1 and Jason-2 altimeters in Corsica during the formation flight phase, 2010, *Marine Geodesy*, Vol. 33, Supp 1.
- You can also get the latest yearly report for this activity at: <http://www.aviso.altimetry.fr/en/data/calval.html>

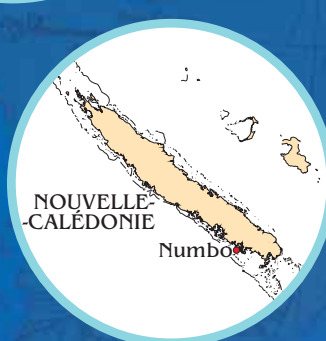
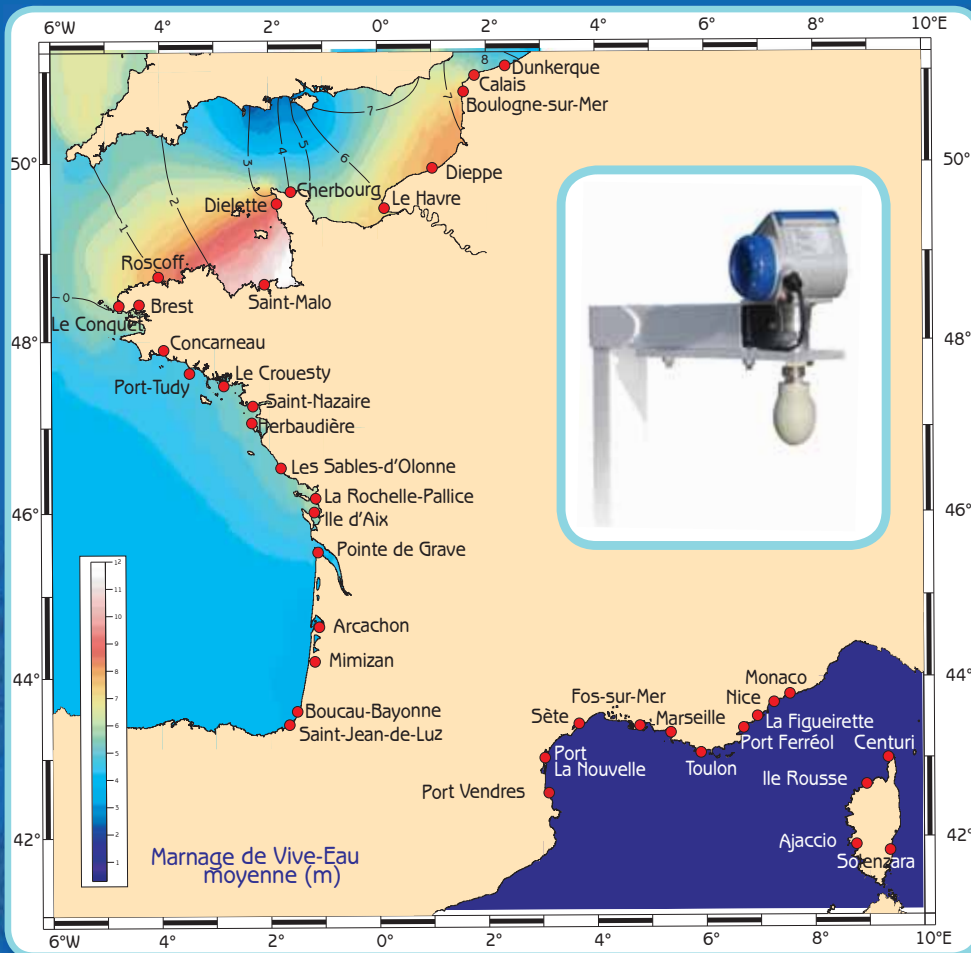


Journées REFMAR, 2-4 Février 2016, Paris



RONIM

Le Réseau d'Observation du Niveau de la Mer





Amélioration de la détectabilité des vagues d'un tsunami par le réseau marégraphique au CENALT (Centre d'Alerte aux Tsunamis)



Auteurs : P. Roudil, F. Schindelé, A. Monnier, P. Duperray, A. Gailler, H. Hébert, A. Loevenbruck

Le Centre d'Alerte aux Tsunamis: CENALT

Le CENALT est opérationnel depuis juillet 2012.

Ses missions sont

- D'alerter la Protection Civile française en 15 minutes en cas d'un séisme pouvant générer un tsunami en Méditerranée Occidentale et dans l'Océan Atlantique Nord-Est
- D'alerter les pays de la zone Atlantique Nord-Est et Méditerranée (NEAM)
- La surveillance des données marégraphiques en cas d'un événement tsunamigène et de transmettre les mesures faites.

NEAM: North East Atlantic and Mediterranean

Le CENALT se situe à Bruyères-le-Châtel (Essonne-France). Il fonctionne 24h/24 et 7j/7, opéré par des analystes spécialistes des données géophysiques au Commissariat à l'Energie Atomique et aux énergies alternatives.



La salle opérationnelle du CENALT

Les partenaires du CENALT:

Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE) et Ministère de l'Intérieur.
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)
Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM)

Les messages d'alerte

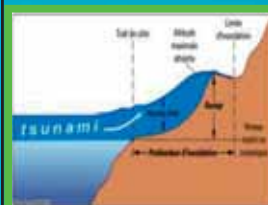
En fonction de la magnitude, de la profondeur et de la localisation des séismes, différents types de messages sont émis par le CENALT:

■ **Messages d'information (niveau jaune)**
Informe les destinataires qu'un séisme fort a eu lieu, mais qu'il n'y a aucun risque de génération d'un tsunami

■ **Messages d'avertissement (niveau orange)**
Indique qu'un tsunami pourrait être en train de se propager avec des vagues de moins de 50 centimètres dans les ports et un niveau d'inondation aux côtes de moins de 1 mètre (run-up)

■ **Messages d'alerte (niveau rouge)**
Préviend qu'un tsunami pourrait se produire avec des vagues de plus de 50 centimètres dans les ports et des inondations de plus de 1 mètre (run-up)

Carte des niveaux d'alerte pour un séisme de magnitude 6,5 en mer Ligure



Caractéristiques d'un tsunami à la côte. Le Run-up est le niveau d'inondation maximum par rapport au niveau moyen de la mer.



Le réseau de stations sismiques et marégraphiques utilisé par le CENALT



Réseaux sismique et marégraphique

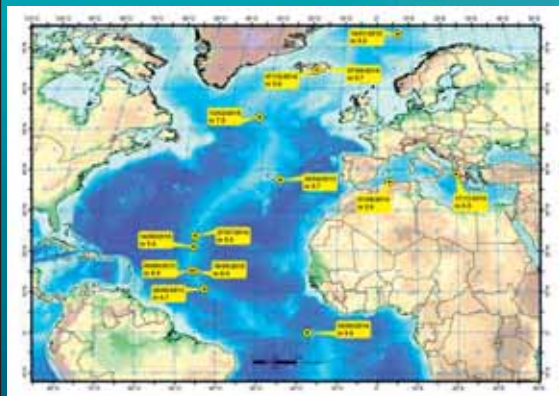
Le CENALT reçoit en temps réel des données de réseaux de deux technologies différentes nécessaires à une détection rapide des tsunamis:

- Des réseaux de stations sismiques qui enregistrent les ondes générées par les séismes et permet de localiser les événements et de calculer leur magnitude et autres paramètres de source
- Des réseaux marégraphiques qui permettent de mesurer les variations du niveau de la mer et de surveiller la propagation d'un tsunami le long des côtes

- Grâce aux informations collectées, le CENALT peut:
- Détecter et caractériser tout séisme pouvant générer un tsunami en Méditerranée Occidentale et Atlantique Nord-Est,
 - Evaluer les temps d'arrivées des vagues d'un tsunami aux côtes,
 - Déterminer les paramètres du tsunami,
 - Préciser les niveaux d'alerte avec une matrice de décision.

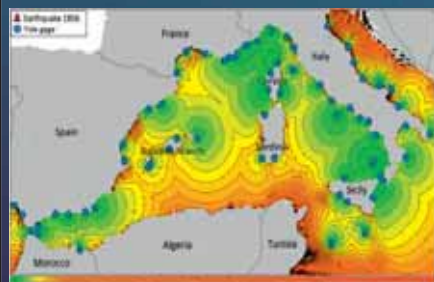
Alertes diffusées par le CENALT

Depuis le début de son activité, le CENALT a diffusé 13 messages d'information auprès de la Protection Civile française et des pays de la zone NEAM. Le niveau information (niveau jaune) indique un fort séisme sans risque de tsunami.



Carte des 13 messages d'information diffusés par le CENALT entre le 01/01/2012 et le 31/12/2015

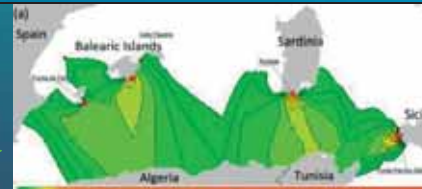
Etude sur l'amélioration de la détectabilité du réseau marégraphique



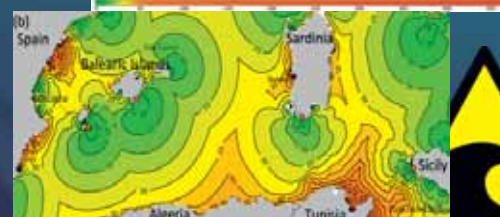
Carte du délai de détection d'un tsunami par le réseau marégraphique actuel, prenant en compte le délai de transmission des données

Le CENALT a développé des outils pour évaluer la détectabilité du réseau marégraphique, prenant en compte la répartition des stations, mais aussi leurs taux de fonctionnement et délais de transmission des données. A partir de ces outils il est possible de déterminer l'emplacement idéal de marégraphes supplémentaires qui permettraient d'améliorer sensiblement la rapidité de détection d'un tsunami.

(a) Gain du délai de détection d'un tsunami (en minutes) par le rajout de 4 marégraphes



(b) Carte du délai de détection d'un tsunami avec l'ajout des quatre stations



Pour plus d'informations www.info-tsunami.fr et neamtic.ioc-unesco.org



VERS LA MISE EN PLACE DE SYSTÈMES NATIONAUX D'OBSERVATION DU LITTORAL AU SÉNÉGAL

Sakho, I.^a, Diara, M.^{b,c}, Siby, S.G.^b, Sall, M.^d, Fall, M.^c, Diouf, B.^c, Ndour, A.^c, Kane, A.^e, Sy, B.A.^f, Woppelmann, G.^g, Testut, L.^g, Duporte, E.^h, Mesnage, V.ⁱ, Lafite, R.ⁱ

- ^a Département Sciences Expérimentales, Université de Thiès, Cité Malick Sy, BP 967, Thiès, Sénégal
- ^b Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés, Parc forestier de Hann, Dakar, Sénégal
- ^c Département de Géologie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, BP 5005 Dakar-Fann, Sénégal
- ^d Centre de Suivi Ecologique de Dakar, BP 15532, Dakar-Fann, Dakar, Sénégal
- ^e Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, BP 5005 Dakar-Fann, Sénégal
- ^f Section de Géographie, Université Gaston Berger de Saint-Louis, BP 234, Saint-Louis, Sénégal
- ^g UMR 7266 LIENSs CNRS-Université de La Rochelle, 2 rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle, France
- ^h Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, CS 92803, 29228 Brest Cedex 2
- ⁱ UMR CNRS 6143 M2C, Université de Rouen, 76821 Mont-Saint Aignan Cedex, France

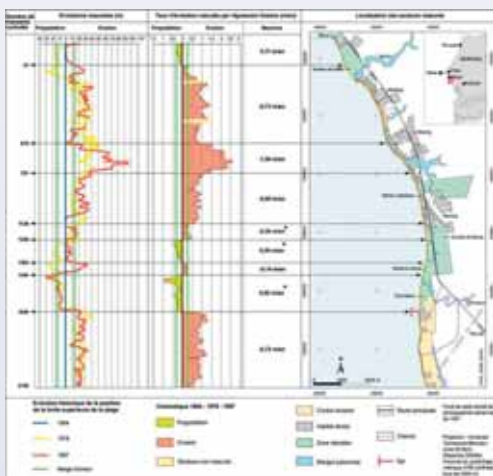
* Corresponding author : issa.sakho@gmail.com

ENJEUX ET PROBLEMATIQUE

Le littoral représente une zone stratégique de développement et il offre beaucoup de services aux sociétés humaines. Au Sénégal, plus de 75% de la population habite à moins de 60 km du rivage. Les activités économiques littorales constituent la principale source de revenus des communautés côtières et occupent une place fondamentale dans le tissu socio-économique national. Le secteur de la pêche représente 32% des exportations et emploie 17% de la population active. 4,6% du PIB proviennent du tourisme et 90% des industries se situent sur le littoral (DEEC, 2015). Plus de 70% des fruits et légumes consommés proviennent de l'agriculture littorale (CSE, 2010). L'essentiel des zones humides se situe également sur le littoral.

Toutefois, de nombreuses contraintes pèsent sur le littoral et compromettent l'avenir des territoires et des sociétés.

⇒ UN LITTORAL EN ÉROSION



Faye, 2010 (CSE)

⇒ SUBMERSIONS MARINES PAR LES TEMPÊTES



⇒ HYPERSALINISATION DES EAUX ET DES TERRES AGRICOLES LITTORALES



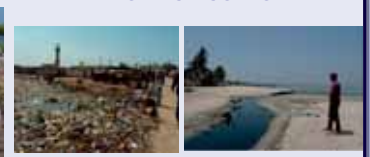
⇒ AMÉNAGEMENTS ANARCHIQUES



⇒ DÉGRADATION MANGROVE



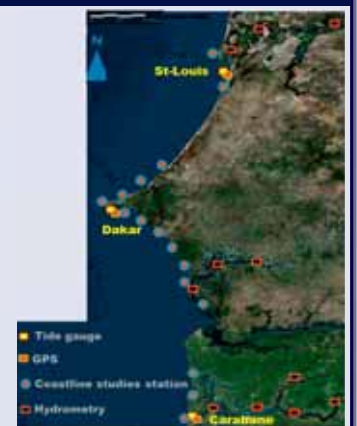
⇒ POLLUTION PAR LES DÉCHETS ET LES EAUX USÉES



DES SYSTÈMES NATIONAUX D'OBSERVATION DE LA DYNAMIQUE LITTORALE

- ⇒ **Dynamique physique : mise en place de réseaux de mesures**
 - Réseau national d'observation du niveau de la mer
 - Réseau national d'observation des mouvements verticaux à la côte
 - Réseau national d'observation du trait de côte
 - Réseau national d'observation de la qualité des eaux et des terres littorales
- ⇒ **Dynamique socio-environnementale**
 - Analyse multi-échelle et suivi de l'évolution des activités socio-économiques
 - Suivi de l'évolution des écosystèmes, des territoires littoraux et planification

OUTIL DE GOUVERNANCE: L'OBSERVATOIRE NATIONAL DU LITTORAL ET DE LA MER



SOHOU Zacharie^{1,2}, DEGBE Georges¹, HOUNGUE Guy Hervé¹, OKPEITCHA O. Victor¹ & ADJE Christian¹

¹Institut de Recherches Halieutiques et Océanologiques du Bénin (IRHO/CBRST); ²Faculté des Sciences et Techniques de l'Université d'Abomey-Calavi (FAST/UAC). Mail répondant: zsohou@yahoo.fr

Introduction

L'une des conséquences bien connue du réchauffement climatique est l'élévation du niveau des mers liée à l'augmentation de la température de l'océan; l'océan se dilate sous l'effet de la chaleur. Il est toutefois difficile de prévoir comment cette chaleur se répartira à l'échelle de la planète. Dans un laps de temps beaucoup plus court, le cycle des marées influence également la variation du niveau des mers. Le rapport de la 12ème session du groupe des experts du GIEC a mentionné que l'évolution du niveau moyen de la mer est aussi due au réchauffement climatique. Les scientifiques estiment maintenant que d'ici 2100, le niveau marin peut augmenter en moyenne de +26 à +98 cm suivant les modèles contre +18 à +59 cm dans le précédent rapport paru en 2007. Les plages sont délimitées par les niveaux des hautes et basses mers. La marée se manifeste par la variation de hauteur du niveau de la mer sous l'action de la lune et du soleil. Les forces que ces astres exercent sur les particules d'eau entraînent des variations du niveau des océans et des mers du globe qui varient dans le temps et qui forment les ondes de la marée.

Matériels et Méthodes

Les variations du niveau de la mer ont été enregistrées par un marégraphe (STS PTM/N/RS485) 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 (fig.1). Le capteur utilisé a enregistré toutes les 5 minutes à la fréquence de 1Hz la hauteur de l'eau.



Fig.1: Position du capteur

➔ On peut caractériser la marée 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). En océanographie du littoral, il permet d'estimer l'étendue de l'estran: portion de littoral comprise entre les niveaux connus des plus hautes et plus basses mers.

➔ L'importance relative des amplitudes des constituants diurnes par rapport à celles des constituants semi-diurnes appelée nombre de formes F permettent de classifier les différents grands types de marée (tab.2).

Tab. 1: Marnage moyen

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

Tab. 2: Nombre de formes

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

Résultats

Validation des données de marée

Les données de marée utilisées dans ce travail ont été validées par la marée théorique SHOM ($R^2 = 0,98$) (fig. 2).

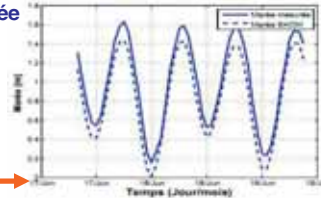


Fig. 2: Marée

Analyse du signal de marée

L'évolution temporelle de la hauteur d'eau à la côte béninoise montre chaque jour, deux pleines mers et deux basses mers avec un marnage moyen de **1,065 m**, caractéristique d'une marée microtidale (marnage moyen < 2m) (fig. 3).

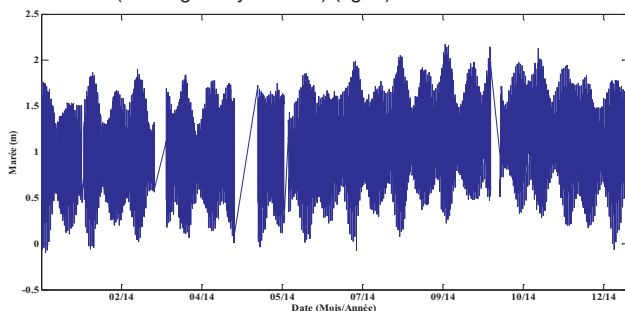


Fig. 3: Evolution temporelle de la hauteur d'eau, marée (m) sur la côte béninoise

Discussion

La marée obtenue sur les côtes béninoises sont de type semi-diurne à influence microtidale. Des résultats concordent avec ceux mentionnés dans les documents de SHOM et observés sur les côtes du Golfe de Guinée.

Les harmoniques se regroupent par groupes selon qu'ils sont plutôt semi-diurnes, diurnes, bimensuels, mensuels etc. et aussi quart-diurnes, sixième-diurnes etc.

Décomposition en harmoniques

La décomposition à 96% en harmoniques du signal de marée a fourni les amplitudes des différents constituants regroupées dans le tableau 3. Des valeurs obtenues, on calcule $F=0,21$ ($F<0,25$). De cette valeur de F, il ressort que la marée dans la zone côtière béninoise est de type semi-diurne.

Tab.3: Amplitudes des constituants diurnes et semi-diurnes

Constituants	Amplitude
M2	0.518
S2	0.167
K1	0.120
O1	0.024

Analyse des harmoniques de la marée

De l'analyse de la figure 4, il ressort que les constituants de la marée les plus dominants sur la côte béninoise sont les constituants diurnes M2, S2, N2 et semi diurnes O1 et K1.

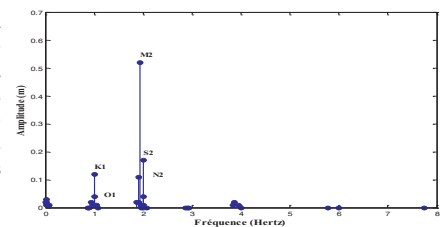


Fig. 4: Amplitude des constituants de la marée en fonction de la fréquence

Conclusion

L'enregistrement de la hauteur d'eau sur une période d'un an a permis de caractériser la marée sur la côte béninoise. De l'analyse, il ressort que la marée sur la côte du Bénin est de type semi-diurne à influence microtidale. Elle est similaire aux marées observées dans le Golfe de Guinée. Les mesures continuent pour des prévisions à long terme.

Suivi du réseau de marégraphes ROSAME



P. Téchiné¹, B. Buisson¹, L. Testut^{1,2}

¹ LEGOS/OMP, Toulouse

² LIENSs/ULR, La Rochelle

avec le soutien de la Division Technique de l'INSU – Plouzané



Réseau d'Observation ROSAME

Le LEGOS (Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales, CNES/ CNRS/IRD/UPS) assure la tâche de 4 Services d'Observations (SO) labellisés, dont le réseau de mesure in situ ROSAME (<http://www.legos.obs-mip.fr/observations/rosame>).

ROSAME est le Réseau d'Observation Subantarctique et Antarctique du niveau de la MER (programme international GLOSS). Depuis 2015, il est intégré au SO/SOERE SONEL (<http://www.sonel.org>). Il est composé de stations marégraphiques (figure 1) implantées sur les Terres Australes et Antarctiques Françaises (figure 2). Les applications scientifiques concernent principalement l'étude des marées océaniques et des variations du niveau de la mer, ainsi que la validation d'observations satellitaires (Cf. poster de L. Testut : ROSAME 20 ans de résultats scientifiques).



Figure 1. Marégraphe de Kerguelen.

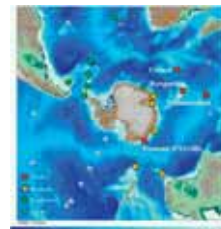


Figure 2. Sites de mesure (en rouge) du réseau ROSAME.

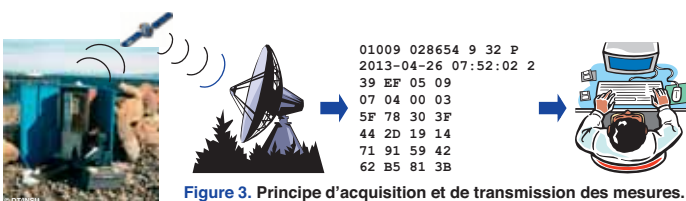


Figure 3. Principe d'acquisition et de transmission des mesures.

Acquisition et transmission des mesures

Sur chaque site de mesure, les stations marégraphiques acquièrent automatiquement des données de pression atmosphérique, pression de fond, température et conductivité de l'eau. Les données sont enregistrées en mémoire, puis regroupées dans des messages transmis au LEGOS via le système satellite Argos (figure 3).

Traitement automatisé des mesures

Chaque jour, environ 200 messages sont reçus en provenance des sites de mesure et déclenchent un logiciel de traitement (figure 4) basé sur des modules génériques écrits avec le langage Perl (approche objet). Un contrôle qualité automatique est effectué pendant le traitement. Lorsqu'un problème survient, un email d'alerte est envoyé pour avertir les gestionnaires du réseau d'observation qui décident le cas échéant une intervention sur le site de mesure. En fin de traitement, la base de données est mise à jour et la distribution des données est assurée sur les sites Web et FTP du LEGOS.

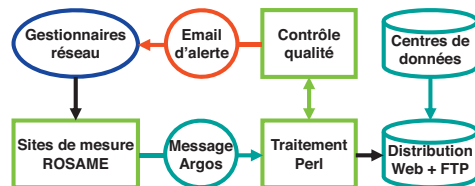
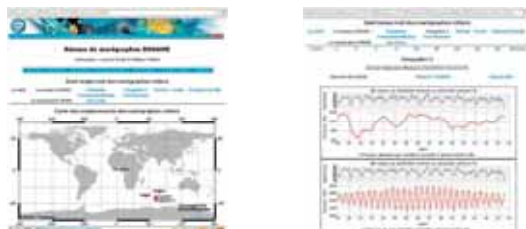


Figure 4. Schéma de fonctionnement du traitement des mesures.

Figure 5. Pages web dynamiques. (gauche) Carte cliquable des emplacements des marégraphes. (droite) Courbes des mesures de pression atmosphérique et pression de fond à Kerguelen.



Suivi du réseau ROSAME

Le suivi du réseau d'observation est accessible sur le site Internet du LEGOS dans des pages web dynamiques (figure 5). Celles-ci rassemblent la carte des positions des marégraphes et les courbes des mesures des capteurs. Des informations pour un suivi opérationnel des stations marégraphiques sont également disponibles.

Plan qualité

Des indicateurs qualité (figure 6), sont mis à jour chaque mois sur le site web du LEGOS et permettent de suivre sur le long terme l'évolution de la qualité des mesures reçues.

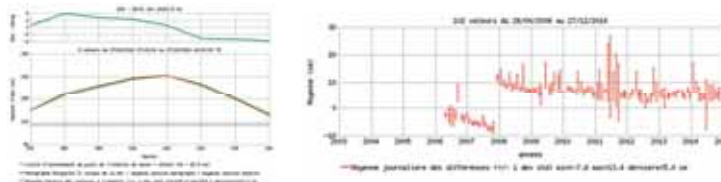


Figure 6. Kerguelen. (gauche) Comparaison des observations du marégraphe avec les lectures à l'échelle de marée du 27/12/2014. (droite) Suivi des dérives d'un marégraphe entre 2006 et 2014.

Bilan

L'utilisation de la transmission par satellite permet de recevoir les données en quasi temps réel au LEGOS. Le logiciel de traitement automatisé et le suivi sur Internet permettent d'avoir un système décentralisé de supervision afin de contrôler rapidement les mesures, de vérifier le bon fonctionnement des stations marégraphiques et de déclencher une éventuelle procédure d'intervention sur site. Ce dispositif améliore la surveillance des capteurs,

minimise la perte des données et fiabilise, dans des endroits d'accès difficile de la planète, le réseau d'observation ROSAME. Depuis sa mise en place mi 2003 jusqu'à aujourd'hui, plus de 700 000 messages ont été reçus et traités au LEGOS, totalisant plus de 17 000 jours d'observations du niveau de la mer dans les Terres Australes et Antarctiques Françaises.



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



ROSAME : 20 ans de résultats scientifiques

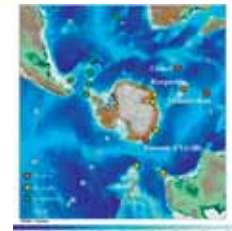
L. Testut^{1,2}, P. Téchiné¹,
M. Calzas³, C. Brachet³, A. Guillot³, C. Guillerm³, C. Drezen³

(1) LEGOS/OMP, Toulouse
(2) LIENSs/UJLR, La Rochelle
(3) DT/INSU, Plouzané



Historique: ROSAME (Réseau d'Observation Subantarctique et Antarctique du niveau de la Mer) est un programme qui a vu le jour en 1986, à l'initiative du Laboratoire d'Océanographie du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, sous la direction scientifique de B. Saint-Guilhem et qui a été repris au début des années 1990 par Christian Le Provost, dans le cadre des programmes internationaux WOCE et GLOSS, avec le soutien logistique et financier de l'IFRPT (devenu IPEV), le soutien technique de la DT/INSU et des crédits d'investissement de l'IFREMER, du Ministère de la Recherche et du CNRS/INSU. L'objectif était d'installer 4 stations marégraphiques côtières, à Crozet, Kerguelen, Saint-Paul et Dumont d'Urville, répondant à des normes strictes de qualité et de suivi et équipées de télétransmission par satellite. Afin de relier les observations faites à la côte par ces stations aux variations du niveau de la mer au large, un programme d'observation par marégraphes immergés sur le rebord des plateaux a été initié à Kerguelen, Amsterdam et Crozet. Ces mouillages sont effectués lors des opérations en mer NIVMER réalisées chaque année pour la maintenance des stations côtières du réseau. Ce réseau a été labellisé par l'INSU en 1997 en tant que Service d'Observation et comme ORE par le Ministère de la Recherche en 2002. Depuis 2015 il est intégré au système de suivi du niveau de la mer à long terme SO/SOERE SONEL.

Figure 1: La carte de droite indique les positions des stations du réseau ROSAME (points rouges) ainsi que les positions des principales autres stations marégraphiques de l'Océan Austral. Le chronogramme ci-contre indique les plages d'acquisition des données rangées par ordre d'installation des sites : Kerguelen (1993), Saint-Paul (1994), Crozet (1995) et Dumont d'Urville (1997). La station de Sao Tomé est traitée par la chaîne de traitement développée dans le cadre de ROSAME (cf. poster de P. Téchiné)



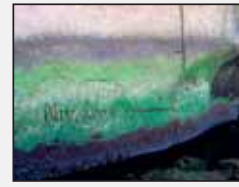
Evolution du niveau de la mer dans l'Océan Austral

135 années d'évolution du niveau de la mer sur l'île Saint-Paul mesurée à l'aide d'un repère oublié.

Au cours des dernières décennies, l'intérêt grandissant des scientifiques pour l'évolution du niveau de la mer a remis au goût du jour une technique vieille de plusieurs siècles : la marégraphie. En effet, l'estimation actuelle de l'élévation moyenne globale du niveau des océans au cours du siècle dernier, de l'ordre de 1 à 2 mm/ans, n'a pu être obtenue que grâce à l'analyse des quelques séries marégraphiques existantes couvrant tout ou partie du XX^e siècle.

Afin d'améliorer cette estimation dans l'hémisphère sud une petite partie de la communauté scientifique s'est tournée vers les archives du service hydrographique de la marine nationale, où dorment un grand nombre de données d'observation du niveau de la mer. Leur consultation a permis aux chercheurs de retrouver des données de marées recueillies par l'expédition de l'Amiral Mouchez sur l'île Saint-Paul (38° 41' S - 77° 31' E) dans les Terres Australes et Antarctiques Françaises durant les mois de novembre et décembre 1874, lors du passage de Venus devant le Soleil, et d'apprendre qu'une marque indiquant le niveau moyen de la mer à cette époque avait été gravée par l'expédition avant son retour en France sur un rocher à l'intérieur du cratère constituant l'île.

d'assembler en une série homogène les différentes observations, historiques et récentes. Il apparaît alors que l'évolution du niveau relatif de la mer à Saint-Paul au cours des 135 dernières années, relatif car ne tenant pas compte des mouvements verticaux éventuels de l'île, n'est pas significativement différente de zéro (- 0.1 ± 0.3 mm/an), soit bien inférieure à ce qu'il se passe en moyenne dans l'hémisphère nord. Ce résultat est un premier pas vers une meilleure estimation de l'élévation passée du niveau de la mer dans cette partie du globe.



Marque historique de niveau de la mer gravée par l'Amiral Mouchez en 1874 à Saint-Paul.
© LEGOS/OMP, INSU-CNRS

Titré de : Testut L. 135 années d'évolution du niveau de la mer sur l'île Saint-Paul. Coll. "La science au présent 2012", Encyclopedia Universalis, p. 50-51, 2012.
Référence principale : Testut et al., J. Geophys. Res. 2010.

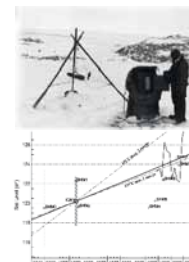


Figure 2: La carte de droite indique les tendances du niveau de la mer dans l'Océan Austral basées sur des données historiques. Les cadres rouges concernent les études menées dans le cadre de ROSAME. Les cadres verts indiquent les données restant à exploiter et les bleus les études de collègues étrangers. A gauche les photos du premier marégraphe installé en Antarctique par l'explorateur Australien Sir Douglas Mawson à Cap Denison (1912) et l'échelle de marée installée par le SHOM à Kerguelen en 1949. La courbe représente la reconstruction de l'évolution du niveau de la mer à Kerguelen sur les 50 dernières années.

Un des objectifs scientifiques importants du réseau ROSAME est la détermination de l'évolution à long terme du niveau marin dans cette région de l'océan où les données *in situ* sont très rares. L'installation successive des marégraphes du réseau nous permet désormais de suivre régulièrement cette évolution. Nous avons aussi voulu, quand cela était possible, mettre à profit le potentiel de mesures historiques faites dans ces régions reculées du globe. L'encart de gauche détaille le cas de la station de Saint-Paul et la figure ci-dessus illustre ceux de Kerguelen et de l'Antarctique. Grâce aux observations du réseau et à un effort de recherche soutenu nous avons pu apporter à la communauté des informations historiques importantes dans 4 points de l'Océan Austral (Dumont d'Urville, Cap Denison, Kerguelen, Saint-Paul). Quelques archives restent encore à exploiter comme le montre la carte de la figure 2.

Métérologie / Développement Instrumental / Etalonnage des altimètres

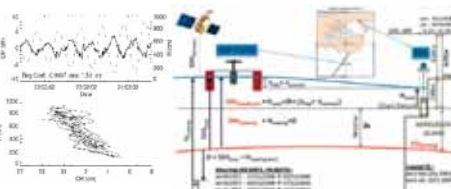


Figure 3: La photo de gauche est la dernière version du prototype de bouée GPS développée par la division technique de l'INSU à Brest et utilisée à la fois pour l'étalonnage des marégraphes côtiers et des missions altimétriques. Les courbes de la figure du milieu montrent un exemple de détection d'une erreur d'échelle « classique » d'un marégraphe grâce à l'utilisation du test de Van de Graaf. La courbe de droite illustre la complexité du dispositif d'étalonnage des missions d'altimétrie satellitaire qui nécessitent une détermination précise et absolue des références verticales.

L'obligation de suivi météorologique extrêmement précis et rigoureux des instruments, découlant essentiellement de l'objectif de suivi à long terme de niveau marin, nous a amené à développer des méthodologies de contrôle particulières ainsi que différents prototypes instrumentaux. En effet la recherche d'un signal de tendance de l'ordre de quelques mm/an avec des instruments standard qui ont souvent des erreurs et dérives supérieures au signal recherché s'avère un réel challenge.

Un travail exhaustif d'analyse et de caractérisations des erreurs des marégraphes modernes a été mené dans le cadre de ce service d'observation. Il a concerné la caractérisation des différents types d'erreurs dans les marégraphes modernes ainsi que l'étude de la stabilité des marégraphes radar et à pression. Ce travail a abouti à la publication de plusieurs articles ayant vocation à servir de références permettant à la communauté de mieux connaître et contrôler les différents types de stations marégraphiques. En parallèle à ces études méthodologiques des travaux de recherche et développement dans le but d'améliorer le comportement et l'utilisation en autonomie des systèmes d'étalonnage par bouée GPS ont été menés sous la direction de la DT INSU de Brest. Ces développements ont déjà donné lieu à plusieurs opérations d'inter-calibration des systèmes de bouées GPS menés en collaboration avec le SHOM, le LIENSs, l'IPG et Geozar. De plus, profants de notre proximité géographique avec le CNES, des recherches sur les traitements GPS en mode « precise point positioning » (PPP) sont en cours pour le déploiement des bouées au large. En raison de sa position stratégique dans l'Océan Austral, de son instrumental et du suivi régulier des instruments, le site de Kerguelen est aussi un des sites privilégiés de calval des missions altimétriques satellitaires (Jason, AltiKa, Sentinel, ...).

Principales références :

- Mayet C., L. Testut, B. Legrény, L. Lescarmonier et F. Lyard. 2012. High resolution barotropic modeling and the calving of Mertz Glacier, East Antarctica. *J. Geophys. Res. (In Revision)*
- Fund F., Peronanz L., Testut S. Loyer. 2012. An Integer Precise Point Positioning Technique for Sea Surface Observations Using a GPS Buoys. *Adv. In Space Res. In Press*
- Testut L., F. Bini and C. Deshaibes. 2012. Regional tidal modeling and evaluation of tidal geophysical correction for Jason-2 altimeter data: a case study over the Kerguelen Plateau, Southern Indian Ocean. *Marine Geodesy*, 35
- Martin Miguez B., L. Testut, and G. Wöppelmann. 2012. Performance of modern tide gauges: towards the mm accuracy. *Surf. Mar.*, 7651, September 2012, 221-228. doi: 10.3989/scimar.03618.18A
- Maraldi, C., F. Lyard, L. Testut, and R. Coleman. 2011. Energetics of internal tides along the Kerguelen Plateau from modeling and altimetry. *J. Geophys. Res.*, 116, C06004, doi:10.1029/2010JC006515.
- Testut L., B. Martin Miguez, G. Wöppelmann, P. Tiphaneau, N. Pournaveas, and M. Karpytchev. 2010. The sea level at Saint-Paul, Southern Indian Ocean, from 1874 to the present. *J. Geophys. Res.*, 115, C12028, doi:10.1029/2010JC006404.
- Maraldi C., M. Mongin, R. Coleman and L. Testut. 2009. The influence of lateral mixing on phytoplankton bloom: distribution in the Kerguelen Plateau region. *Deep-Sea Research* (doi:10.1016/j.dsr.2008.12.018)
- Amalvid, M., P. Willis, G. Wöppelmann, E. Ivers, M.N. Boun, L. Testut, J. Hinders. 2009. Isostatic stability of the East Antarctic station Dumont d'Urville from long-term geodetic observations and geophysical model. *Polar Research*. DOI: 10.1111/j.1751-8369.2008.00091.x
- Martin-Miguez B., L. Testut, G. Wöppelmann. 2008. The Van de Graaf test revisited: an efficient approach to tide gauge error characterization. *Journal of Atmos. and Ocean Techn.* 25 (7): 1238-1244.
- Maraldi, C., B. Galton-Fenzi, F. Lyard, L. Testut and R. Coleman. 2007. Tides in the Southern Indian Ocean. *Geophys. Res. Lett.*, 34, doi:10.1029/2007GL030900.
- Testut L., G. Wöppelmann, B. Simon, P. Téchiné. 2006. The Sea Level at Port-au-Français, Kerguelen Island, from 1950 to the present. *Ocean Dynamics* Vol. 56, N5-6, doi:10.1007/s10236-005-0056-8.

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

Dynamique de l'Océan Austral

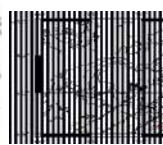
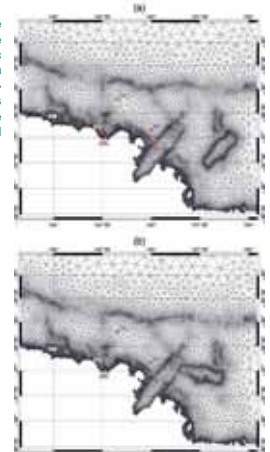


Figure 4 : Les 2 figures de droite montrent les maillages du modèle numérique de marée avec différentes configuration de la positions des icebergs. La figure ci-dessus montre l'amplitude des ondes internes (en cm) décelées les long des traces altimétriques au sud de Kerguelen.



Une autre thématique importante associée au programme ROSAME est l'étude de la dynamique de l'océan austral à différentes échelles de temps. Pour ce faire des modèles de marée et de réponse au forçage atmosphérique à haute résolution spatiale ont été développés dans les régions Antarctique et Subantarctique. Le modèle de marée régional Subantarctique nous a montré sa capacité à améliorer les données altimétriques notamment en zone côtière. Une étude des ondes de marées internes dans la région des Kerguelen a pu être menée avec l'aide des informations fournies par le modèle de marée et par l'altimétrie satellitaire. On a ainsi pu mieux caractériser les ondes de marée interne qui se développent sur les bords du plateau des Kerguelen et sont visibles dans les données altimétriques. Ces premiers résultats sont importants pour mieux comprendre et caractériser les processus de mélange dans cette région et leur implication par exemple dans l'existence du bloom de phytoplancton. De même dans la zone antarctique l'utilisation du modèle de marée et des données du réseau a pu nous renseigner sur le rôle de la circulation océanique sur le vêlage d'icebergs géants comme cela a été le cas en janvier 2010 lors du vêlage du glacier Mertz à l'est de la station de Dumont d'Urville.



www.legos.obs-mip.fr



Essais de modélisation de la submersion marine des côtes ivoiriennes :

Cas des zones de Port-Bouet et de Grand-Bassam

Jacques André Tiemélé¹, Eric Valère Djagoua¹, Brice Abaka Mobio¹, Jean Baptiste Kassi¹, Jeanne Maffoué Kouadio¹, Adonis Krou Kouamé¹, Cassandre Ziné Dro¹ et Kouadio Affian^{1,2}

¹Centre Universitaire de Recherche et d'application en Télédétection (CURAT), Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire

^{1,2}Laboratoire de Géologie Marine et de Sédimentologie, U.F.R. des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire



e-mails : jatiemele@yahoo.fr / andre.tiemele@curat-edu.org / vdjagoua@yahoo.fr

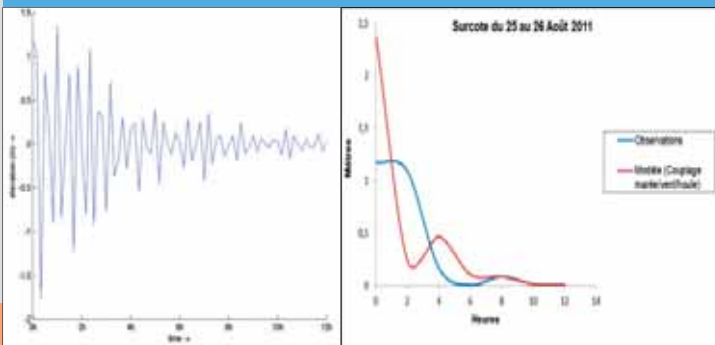


Introduction

Afin de faire face aux séries de tempêtes survenues ces dernières années sur les côtes ivoiriennes, endommageant les ressources environnementales, socio-économiques et humaines de la zone côtière, des essais de modélisation de la submersion marine des côtes les plus vulnérables, notamment celles de Port-Bouet et de Grand-Bassam ont été entrepris pour comprendre les variations temporelles et spatiales de l'élévation du niveau de la mer survenue sur ces côtes dans la nuit du 25 au 26 Août 2011. Des simulations numériques à haute résolution ont été effectuées à l'aide du logiciel DELFT 3D pour déterminer la surcote de déferlement

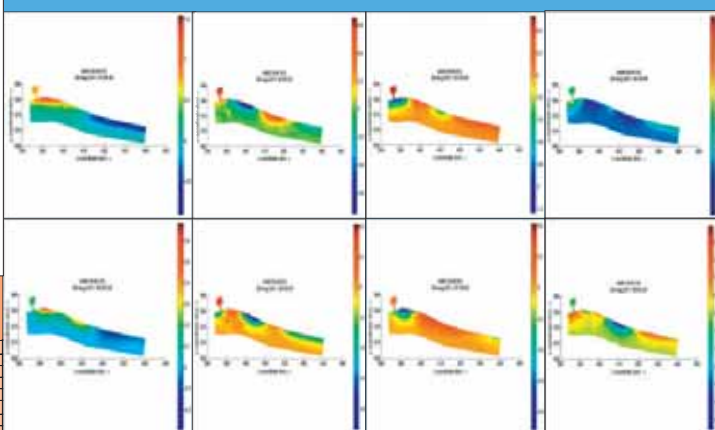
Résultats

Variation temporelle de l'élévation du niveau de la mer



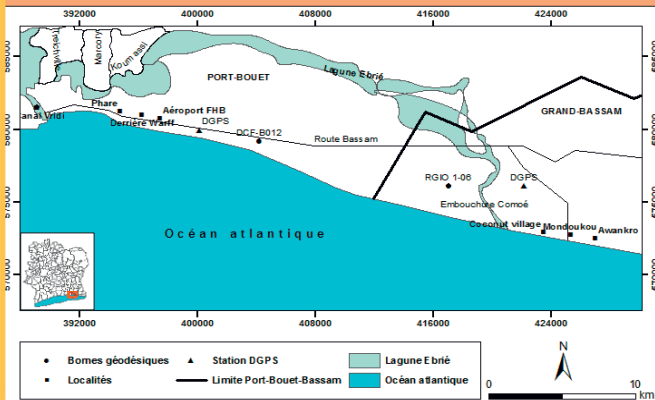
- Abaissement et élévation respectifs du niveau de la mer de 1,8 et 1,3 m au bout de 3h de simulation
- Surcote moyenne estimée à 0,77 m à 12 h de simulation

Evolution spatiale de l'élévation du niveau de la mer

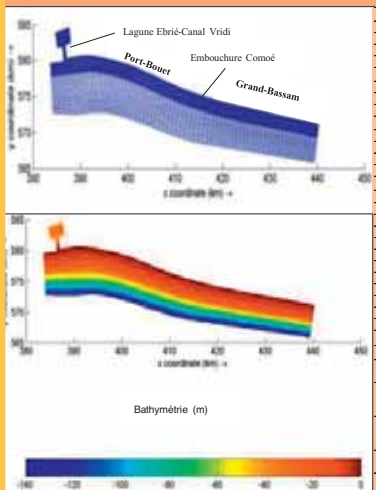


- 1h, niveau marin entre 0,7 et 1,3 m à l'est du Canal de Vridi
- 2h, élévation de 0,6 m dans le Canal de Vridi et dans la zone de l'embouchure du fleuve Comoé
- 3h, secteurs Port-Bouet (Phare, Derrière Warff, Aéroport) et Grand-Bassam (Coconut village, Mondoukou, Awankro) simultanément touchés par une élévation de 0,4 m
- 4h, élévation de 0,2 m dans le secteur de Grand-Bassam et à la sortie du Canal de Vridi, 0,8 m
- 5h, Phare, Derrière warff et Aéroport de Port-Bouet face à une élévation de 0,7 m
- 6h, Phare, Derrière Warff et Aéroport de Port-Bouet face à une élévation de 0,15 m
- 7h, Aéroport confronté à une élévation de 0,2 m
- 8h, secteurs Port-Bouet (Phare, Derrière Warff, Aéroport), Grand-Bassam (Coconut village, Mondoukou, Awankro) et embouchure du fleuve Comoé simultanément face à une élévation de 0,2 m

Zone d'étude



Méthodes



Données

Maillage de la zone d'étude (DELFT 3D-RGFGRID)	
Composantes	Valeurs
Coordonnées cartésiennes	74 points grid en M et 99 points en N
Résolution spatiale	100 m en M et 59 m en N
Zone de déferlement	Refinement 2*2
Bathymétrie (DELFT 3D-QUICKIN)	
Composantes	Valeurs
Profondeurs	0 - 140 m
Interpolation	50 points
Conditions initiales du modèle	
Composantes	Valeurs
Epi d'arrêt de sable	M1=6 N1=42 M2=6 N2=21
Débit de simulation	26/08/2011 00 h 00 min 00 s
Fin de simulation	26/08/2011 12 h 00 min 00 s
Pas de temps	0,5 min
Hauturs de marées	1,18 m
Hauturs significatives	2,29 m
Période	15 s
Direction nautique	203°
Direction de propagation	60°
Gravité	9,81 N/kg
Densité de l'eau	1000 kg/m ³
Densité	1 kg/m ³
Rugosité	65
Viscosité	0,1 m ² /s
Fréquence d'écoulement	207/h
Vents 25/08/2011	Vitesse : 3,2 m/s Direction : 240°
Vents 26/08/2011	Vitesse : 4 m/s Direction : 240°
Conditions aux limites du modèle	
Limites forcées	Limites
Zone sud de l'océan	M1=2 N1=1 M2=73 N2=1
Niveau d'eau	Harmonique
Zone ouest du canal de Vridi	M1=1 N1=3 M2=1 N2=42
Neumann, Harmonique	
Zone est Grand-Bassam	M1=74 N1=2 M2=74 N2=45
Neumann, Harmonique	
Zone lagune Ebrié	M1=5 N1=99 M2=9 N2=99
Neumann, Harmonique	

Conclusion

Simulations numériques à haute résolution à l'aide de DELFT 3D nécessaires pour la compréhension de l'amélioration de la prédiction et la précision des surcotes de déferlement sur les côtes de Port-Bouet et de Grand-Bassam
Implication dans les prises de décision pour une gestion durable des aménagements côtiers en Côte d'Ivoire



IMPACTS DES MAREES DE TEMPETE SUR LA DYNAMIQUE DU LITTORAL IVOIRIEN ENTRE 2007 ET 2014

* YAO Kouadio Salomon, +225 07 35 44 89, ysalomon@ yahoo.fr ; KOFFI Kouli Prédicat, +225 09 71 82 26, ykoffi@ yahoo.fr ; DANGUI Nwab Paul, +225 05 39 13 07, dangui@ yahoo.fr ;
HAUHOUCO Assaygo Célestine, +225 07 84 72 96, a_hauhouc@ yahoo.fr ; ABE Jacques, 01 89 17 18 Aoujan 01, +225 07 09 38 00, jacques@ yahoo.com

I- CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

- Le littoral ivoirien est constitué d'un paysage diversifié qui détermine des sensibilités différentes à l'érosion côtière.
- La côte sableuse constitue le secteur le plus fragilisé par l'érosion côtière, sous l'action combinée des facteurs hydrodynamiques naturels (houle, marée) et anthropiques (aménagement littoraux : ports, extractions de sables de plage...). Avec un taux de recul de l'ordre de 1 à 2 m par an, elle enregistre épisodiquement des reculs plus importants du trait de côte (au-delà de 3 m), des submersions par endroits des cordons barrières, lors des événements exceptionnels de type marée de tempête.
- Ces marées de tempête, de plus en plus récurrentes sur la côte ivoirienne (13-14 août 2007, 29-31 août au 1er sept 2011, 27-30 mai 2014) impactent considérablement les enjeux socio-économiques le long du rivage (destruction d'habitats, d'infrastructures touristiques, d'équipements maritimes etc...). Les nombreux dégâts enregistrés sont rarement estimés.
- La connaissance de la sensibilité du littoral et la mise en évidence de l'impact des événements exceptionnels s'avèrent très importantes dans un contexte de gestion durable du littoral ivoirien.

Paysage littoral de Côte d'Ivoire



Sensibilité du littoral de Côte d'Ivoire



II- OBJECTIFS DE L'ETUDE

OBJECTIF GÉNÉRAL: Caractériser la dynamique de la côte lors des événements exceptionnels.

- OBJECTIFS SPÉCIFIQUES:
- Mesurer la cinématique du trait de côte liée aux événements extrêmes;
 - Estimer les dégâts enregistrés au cours de ces événements.

III- MATÉRIEL ET MÉTHODES

OBSERVATIONS DE TERRAIN

- Levés topographiques de profils de plage
- Mesures directes par chainages du recul du trait de côte
- Enquêtes de terrain



Levés topographiques de profils de plage à Abidjan - Grand Bassam (septembre, 2011)



Mesure par chainage du recul du trait de côte à N'zérékoré (septembre, 2011)

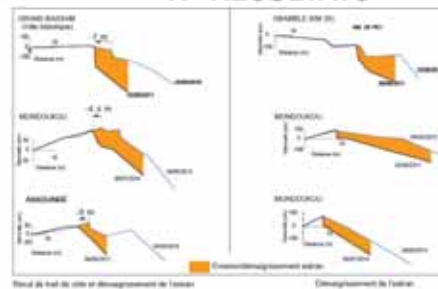


Enquête de terrain à Assandjé (jan 2014)

IV- RESULTATS



Recul du rivage de 3 à 8 m



Recul de trait de côte et démaigrissement de l'estran



Démolissement de l'écran (Hauhouc, 2014)



Submersion du cordon littoral

- Recul du rivage de 3 à 8 m, et démaigrissement important de l'estran entre Abidjan et Bassam (Hauhouc, 2014).
- Submersion du cordon littoral, destruction de bâtiments, ensablement d'équipements d'hôtels (piscine, aires de loisirs) et de routes.
- Impact chiffré à 250 millions de francs de dommages directs au niveau de l'industrie touristique en 2011 sur le périmètre littoral de Bassam (HOREST: Association des Hôteliers Restaurateurs de Grand Bassam).

V- CONCLUSION

- Les reculs du trait de côte enregistrés sont de l'ordre de 3 à 8 m lors des événements de type marées de tempête de 2007 à 2014.
- L'impact des marées de tempête sur la dynamique du littoral ivoirien est avéré.
- L'inventaire provisoire des différents événements exceptionnels indique une destruction importante des infrastructures sur la basse côte sableuse entre Abidjan et Assinie (Sud-Est du littoral ivoirien)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

HOUHOUCO C. (2014). Sensibilité du littoral de Grand Bassam (Côte d'Ivoire) à l'érosion marine. Mémoire de Magister de Géographie du Laboratoire de Recherche sur la Dynamique des Milieux et des Sociétés, Université de Cocody, Abidjan. 47 p.

HOUHOUCO C. et KOFFI P. (2011). Sensibilité des plages du littoral ivoirien à l'érosion marine. Mémoire de Magister de Géographie, Université de Cocody, Abidjan. 107 p.

KOFFI P., YAO K. S., ABE J., HOUHOUCO C. et SAMBA S. B. (2014). Gestion prospective face à la dynamique précoce des plages de littoral ivoirien. Mémoires, Université Nationale des Sciences, Techniques et Arts de Côte d'Ivoire.

KOUAN K. S., SAMBA S. B., ABE J. et KOUA K. (2011). Impact des tempêtes récurrentes sur le littoral de Bassam (Côte d'Ivoire). European Journal of Scientific Research, Vol 27 n° 2, pp 199-202.





REFMAR

téléphone (+33) 2 56 31 24 26

télécopie (+33) 2 56 31 25 85

mél. : refmar@shom.fr

Adresse postale civile

13, rue du Chatellier

CS 92803

29228 BREST CEDEX 2 - France

Accueil téléphonique

Pour tous renseignements :

(+33) 2 56 312 312

Internet

refmar.shom.fr

data.shom.fr

www.shom.fr

Certifié « ISO 9001 »

pour l'ensemble de ses activités

Les partenaires



Observatoire pour une Terre durable

brgm



Les soutiens

