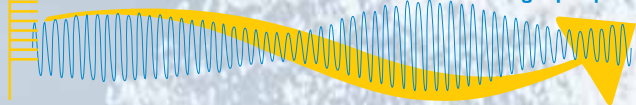


Journées

REFMAR

Réseaux de référence des observations marégraphiques



Recueil des résumés

2 - 4 février 2016
à l'UNESCO Paris



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



Commission
océanographique
intergouvernementale

Sommaire

● MARDI 2 FÉVRIER

JOURNÉE INAUGURALE

Recherche et marégraphie, J. AUCAN 5

L'observation du niveau marin au profit de la recherche

Apports de la modélisation hydrodynamique au droit d'un marégraphe dans l'analyse des séries temporelles des niveaux enregistrés
R. PEDREROS, A. NICOLAE LERMA, S. LECACHEUX et F. PARIS 8

La mesure du niveau marin par bouée GNSS et les références verticales maritimes rapportées à l'ellipsoïde (BATHYELLI),
G. ANDRE, R. LEGOUGE, Y.-M. TANGUY, G. JAN, B. MARTÍN MÍGUEZ, V. BALLU, L. TESTUT et G. WÖPPELMANN 9

L'altimétrie spatiale face au défi du côtier : apport des observations marégraphiques,
F. BIROL, N. FULLER, F. LYARD et M. CANCEZ 10

Utilisation d'une antenne GNSS pour mesurer les variations du niveau marin par réflectométrie,
N. ROUSSEL, F. FRAPPART, G. Ramillien, J. DARROZES, R. BIANCALE, L. LESTARQUIT 11

Modélisation spatiale de l'onde de marée M2 dans le Golfe de Guinée : Évaluation de son amplification dans l'estuaire du Cameroun
R. ONGUENE, F. LYARD, Y. DU-PENHOAT, D. ALLAIN, P. MARSALEIX, et T. DUHAUT 12

Étude des oscillations marines de basse fréquence pouvant induire une potentielle submersion marine sur un littoral microtidal. Cas du littoral Algérois (Port d'Alger)
Y. HEMDANE et L. BENSLAMA 13

Inondations côtières sur les récifs frangeants de Fidji et Tuvalu
C. BOSSERELLE, H. DAMLAMIAN et J. KRÜGER 14

● MERCREDI 3 FÉVRIER

Les surcotes marines

Les surcotes marines : phénomènes, observation, modélisation, évènements extrêmes et enjeux,
Déborah IDIER, Rodrigo PEDREROS 17

Surcotes et submersions : histoire européenne et déclinaisons locales (XIV^e – XXI^e),
Emmanuel GARNIER, Thierry SAUZEAU 18

Projet NIVEXT- Amélioration de la connaissance des tempêtes passées sur le littoral Atlantique-Manche
C. DAUBORD, G. ANDRÉ et V. GOIRAND 19

L'information historique dans les statistiques de niveaux d'eau extrêmes,
T. BULTEAU, D. IDIER, J. LAMBERT et M. GARCIN 20

Analyse Régionale des aléas maritimes,
P. BERNARDARA ET M. ANDREEWSKY 21

Modélisation de la dépendance entre la marée et la surcote météorologique pour l'estimation des niveaux marins extrêmes en sites à fort marnage,
X. KERGADELLAN, M. BENOIT et P. BERNARDARA 22



Surcotes et submersions marines dans la partie centrale du Golfe de Gascogne, <i>X. BERTIN</i>	23	8
Performances et évolutions du modèle opérationnel de prévision des surcotes HYCOM (2D) - projet HOMONIM, <i>A. PASQUET, R. BARAILLE et D. JOURDAN</i>	24	7
Importance de la représentation spatiale des surcotes marines lors des tempêtes en contexte microtidal, <i>S. ELINEAU, A. N. LERMA, F. PARIS et R. PEDREROS</i>	25	6
Prévision des niveaux d'eau extrêmes : les effets des ondes infra-gravitaires et de l'érosion, <i>D. ROELVINK, A. van DONGEREN, M. van ORMONDT, R. MCCALL et J. REYNS</i>	26	5

• JEUDI 4 FÉVRIER

Comprendre l'évolution du niveau de la mer

Les variations actuelles du niveau de la mer en réponse au changement climatique, <i>B. MEYSSIGNAC</i>	29	4
Polar ice sheets and sea-level rise: threats and uncertainties, <i>G. DURAND</i>	30	3
Les représentations du niveau de la mer dans les modèles de circulation générale de l'océan et du climat, <i>P. ROGEL</i>	31	2
Reconstitutions holocènes du niveau marin relatif et modèles de réajustement isostatique : Apports pour la calibration des observations actuelles d'évolution du niveau marin. Application à l'Europe de l'ouest <i>J. GOSLIN, B. van VLIET LANOË, G. SPADA, S. BRADLEY, L. TARASOV, S. NEILL et S. SUANEZ</i>	32	1
Les enregistrements récifaux des variations du niveau de la mer <i>G. CAMOIN</i>	34	0
Sauvegarde et analyse des données historiques de hauteurs d'eau : exemple de la reconstruction de la série marégraphique de Saint-Nazaire depuis 1821 <i>Y. FERRET, V. DONATO et N. POUVREAU</i>	35	
Niveau de la mer et processus longue mémoire <i>M. BECKER, M. KARPYTCHEV, M. MARCOS, S. JEVREJEVA et S. LENNARTZ-SASSINEK</i>	36	
Apports de l'InSAR pour la mesure des mouvements verticaux du sol en zones côtières urbaines <i>G. LE COZANNET, G. WÖPPELMANN, D. RAUCOULES, M. DE MICHELE ETC. POITEVIN</i>	37	
L'évolution des événements extrêmes du niveau de la mer <i>M. MARCOS, F. M. CALAFAT, Á. BERIHUETE et S. DANGENDORF</i>	38	



INAUGURATION







Recherche et marégraphie

Jérôme AUCAN⁽¹⁾,

Les observations marégraphiques permettent l'étude de nombreux phénomènes autres que la marée astronomique. Ces phénomènes couvrent des échelles de temps qui vont de la seconde (pour les vagues) à plusieurs décennies (pour le changement climatique).

Dans une première partie de cette présentation, nous reviendrons d'abord sur l'origine et le type des observations marégraphiques. Les organismes responsables et l'acquisition et de la distribution des données seront également brièvement décrits.

Dans une deuxième partie, les phénomènes physiques qui peuvent être étudiés avec ces observations marégraphiques seront détaillés à travers des exemples d'applications ou d'études.

Ces phénomènes incluent les vagues et la houle, les tsunamis, les ondes infragravitaires. les surcotes de tempête, et les variations interannuelles de type ENSO, ou à long terme, du niveau de la mer.

⁽¹⁾ jerome.aucan@ird.fr



Notes



MARDI 2 FÉVRIER

L'observation du niveau marin au profit de la recherche



Apports de la modélisation hydrodynamique au droit d'un marégraphe dans l'analyse des séries temporelles des niveaux enregistrés

Rodrigo PEDREROS⁽¹⁾, Alexandre NICOLAE LERMA,
Sophie LECACHEUX et François PARIS

Du fait de leur position abritée, les marégraphes peuvent enregistrer, en plus de la marée prédite et de la surcote atmosphérique (effet du vent et du baromètre inverse), des effets de site comme les seiches et du *wave setup* correspondant à la surcote générée par le déferlement des vagues à l'extérieur de la zone abritée. Les méthodes classiques de traitement des données ne permettent pas d'extraire la part du *wave setup*.

Il en résulte :

- (1) une utilisation délicate des mesures des marégraphes pour la validation de modèles de niveaux d'eau intégrant uniquement surcote atmosphérique et marée ;
- (2) une possible surestimation des niveaux d'eau de référence au rivage calculés dans les études de submersion, le *wave setup* calculé sur le littoral étant ajouté au niveau de référence déterminé du marégraphe le plus proche qui contient déjà une partie de ce *setup*.

Cette présentation propose une méthode, basée sur la modélisation numérique, permettant de déterminer le *wave setup* enregistré par les marégraphes. Elle a été appliquée au marégraphe des Sables d'Olonne.

La première étape consiste à modéliser à haute résolution spatiale (mailles de 10 m) la surcote atmosphérique et le *setup* au niveau du port pour 7 tempêtes de référence sur la période 1989-2014. Dans un deuxième temps une relation entre le *wave setup* et les caractéristiques des vagues au large et de la marée prédite est ajustée et appliquée pour calculer le *wave setup* sur une période de 11 ans au marégraphe des Sables d'Olonne au cours de laquelle :

- (1) les *wave setup* les plus importants atteignent 0,2 à 0,3 m ;
- (2) leurs contributions représentent près de 10 % de la distribution statistique des surcotes extrêmes (99^e centile).

Cette méthode nécessitant un nombre limité de modélisations numériques pour établir une relation empirique de calcul du *setup* au niveau du port est d'une part transposable à d'autres sites, et d'autre part permet le calcul du *setup* sur de longues périodes avec des coûts de calcul faibles.

La mesure du niveau marin par bouée GNSS et les références verticales maritimes rapportées à l'ellipsoïde (BATHYELLI)

Gaël ANDRE ⁽¹⁾, Raphaël LEGOUGE, Yves-Marie TANGUY,
Gwénaële JAN, Belén MARTÍN MÍGUEZ, Valérie BALLU,
Laurent TESTUT et Guy WÖPPELMANN

La mesure du niveau de la mer dans un référentiel mondial avec une précision sub-centimétrique représente un réel défi dans le contexte actuel du réchauffement climatique et de l'élévation du niveau des mers qui en résulte. De nouveaux capteurs utilisant les systèmes de positionnement par satellites (GNSS) fournissent des mesures du niveau de la mer directement rapportées à un référentiel géocentrique absolu à des précisions centimétriques.

Lors d'une expérience, menée à l'île d'Aix en 2012, plusieurs bouées équipées de GPS ont été évaluées par rapport à un marégraphe radar conventionnel. L'erreur quadratique moyenne (RMSE) calculée entre les données des bouées GPS et celles du marégraphe est comprise entre 1 cm et 2,2 cm, ce qui est satisfaisant pour les applications marégraphiques et offre d'intéressantes perspectives pour les futures études des variations du niveau de la mer.

En cartographie marine, les profondeurs (acquises par navire équipé de sondeur et aujourd'hui par avion équipé de laser bathymétrique) sont exprimées par rapport à un zéro hydrographique, qui garantit la sécurité de la navigation. La généralisation des GNSS, permettant une mesure de la composante verticale de plus en plus fiable, a introduit une nouvelle référence verticale usuelle en hydrographie : l'ellipsoïde. Dans ce contexte, le service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM) génère des surfaces de référence verticale maritime cotées à l'ellipsoïde au travers du projet BATHYELLI. Cette modélisation surfacique, obtenue par fusion de données multisources (altimétrie spatiale, levé GPS, marégraphe), offre une possibilité innovante pour les hydrographes : le levé bathymétrique référencé à l'ellipsoïde. Avec l'éventail de techniques GNSS aujourd'hui disponibles sur les navires, la hauteur ellipsoïdale du fond est accessible et transformable directement en sonde référencée au zéro hydrographique, rendant ainsi inutile toute observation de marée/surcote, souvent associée à l'immersion d'un marégraphe.

⁽¹⁾ gael.andre@shom.fr

L'altimétrie spatiale face au défi du côtier : apport des observations marégraphiques

Florence BIROL ⁽¹⁾, Nicolas FULLER ⁽¹⁾,
Florent LYARD ⁽¹⁾ et Mathilde CANCEZ ⁽²⁾

Au cours des 20 dernières années, l'altimétrie spatiale, permettant de mesurer les variations du niveau de la mer depuis l'espace, a permis de formidables avancées en termes de connaissance des courants et de la dynamique de l'océan, aussi bien que l'émergence de nombreuses applications opérationnelles. Elle constitue en effet un complément solide au faible nombre relatif de données océaniques *in-situ* et génère aujourd'hui des séries longues (>23 ans) de mesures précises et quasi-globales dont on peut dériver une multitude d'informations sur l'état de l'océan, à des échelles temporelles et spatiales très diverses (de l'intra-saisonnier à l'interannuel, de la dizaine de km au global) et ses interactions avec les autres environnements (atmosphère, écosystèmes marins, glace, hydrologie, continents). Pourtant, malgré les forts enjeux socio-économiques liés à l'espace marin côtier, l'altimétrie spatiale n'est que très peu exploitée aujourd'hui dans ces zones de l'océan. Les instruments altimétriques actuels n'ont pas été conçus pour ce type d'objectif, le traitement des mesures n'y est pas aussi bien maîtrisé qu'au large et les produits de données distribués par les agences sont relativement inadaptés au besoin. Près des côtes (c'est à dire à une distance < à 50 km de celles-ci), la précision des données décroît fortement pour atteindre des niveaux d'erreur rendant l'observation de tout processus océanique difficile à impossible. La résolution spatio-temporelle des observations altimétriques apparaît également relativement faible par rapport au besoin.

Aujourd'hui, l'altimétrie spatiale rentre dans une nouvelle ère, avec des instruments de mesure basés sur de nouvelles technologies et des traitements de la donnée mieux adaptés. Ils vont permettre d'augmenter significativement la résolution spatiale et la couverture d'observation en hauteur de mer à proximité des terres. Cela est tout à fait favorable à l'observation et la surveillance de l'océan côtier depuis l'espace mais soulève également un certain nombre de questions, tant sur le plan technique que scientifique. Cet exposé vise à illustrer comment les mesures des réseaux marégraphiques peuvent nous aider à y répondre.

Utilisation d'une antenne GNSS pour mesurer les variations du niveau marin par réflectométrie

Nicolas ROUSSEL ⁽¹⁾, Frédéric FRAPPART ⁽²⁾, Guillaume RAMILLIEN ⁽¹⁾,
José DARROZES ⁽¹⁾, Richard BIANCALE ⁽¹⁾, Laurent LESTARQUIT ⁽³⁾

Alors que les constellations des satellites GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, etc.) sont habituellement utilisées pour le positionnement précis, il est aussi possible d'utiliser les trajectoires des ondes électromagnétiques émises de manière continue par ces satellites pour déterminer les variations locales des caractéristiques de la surface marine en utilisant une simple antenne réceptrice. Cette nouvelle technique de télédétection opportuniste, la réflectométrie GNSS (ou GNSS-R), consiste à capter les ondes directes et celles qui sont réfléchies à la surface de la mer, pour en déduire des paramètres géophysiques par corrélation entre ces deux types d'ondes. Au niveau de l'antenne réceptrice, les ondes directes et réfléchies interfèrent, et ces interférences sont particulièrement visibles dans le rapport signal-sur-bruit, ou « Signal-to-Noise Ratio » (SNR) enregistré par une station GNSS classique. L'utilisation des séries temporelles SNR permet d'estimer les caractéristiques de la surface réfléchissante et, notamment, de suivre les variations du niveau marin. La méthode d'inversion utilisée est basée sur une résolution par les moindres carrés pour estimer les variations de hauteur de la surface de la mer (précision centimétrique sur une hauteur individuelle), et surtout en tenant compte de la vitesse de variation de cette surface, en introduisant ce nouveau paramètre dans le processus d'ajustement. Nous avons pu mettre en œuvre cette méthode de traitement des mesures SNR pour réaliser le suivi local des niveaux d'eau en domaine côtier au cours d'une campagne de mesures au phare de Cordouan. Les données ont été acquises du 3 mars au 31 mai 2013 en installant une antenne Trimble Zephyr Geodetic 2 et un récepteur Trimble NetR9 en haut du phare, à environ 60 m au-dessus la surface marine. Le phare est situé proche du Verdon, France, à la sortie de l'estuaire de la Gironde, à environ 8 km des côtes. L'environnement proche est très hétérogène et variable. Des bancs de sable, submergés à marée haute, apparaissent au pied du phare lorsque la marée descend. La bathymétrie particulière autour du phare, couplée aux effets de courants dus à la proximité de l'estuaire de la Gironde, modifient la dynamique des vagues dans l'environnement proche de l'antenne. Si des vagues de quelques mètres peuvent apparaître à marée haute (SWH >2 m), la mer est quasiment systématiquement calme à marée basse. Sur ce site de mesure, les variations du niveau de la mer atteignent ± 3 m, et la dérive maximale de la marée semi-diurne atteint 0,2 mm/s. Malgré ce contexte très complexe, la série de la hauteur de mer déduite des mesures SNR est très fortement corrélée aux enregistrements indépendants de trois marégraphes situés à proximité du phare (>0,94). De plus, l'analyse en ondelettes de la série SNR révèle la contribution périodique de l'ensemble des ondes de marées et celle de la houle identifiée à partir de sorties de modèles. Les résultats montrent que la technique GNSS-R représente une alternative intéressante en domaine côtier à l'altimétrie satellite classique. Elle pourrait être étendue à l'ensemble des stations côtières existantes des réseaux permanents.

⁽¹⁾ CNRS, GET (UMR 5563), OMP, 31400 Toulouse - nicolas.rousseau@get.obs-mip.fr

⁽²⁾ UPS, GET (UMR 5563), OMP, 31400 Toulouse

⁽³⁾ CNES, GET (UMR 5563), OMP, 31400 Toulouse

Modélisation spatiale de l'onde de marée M2 dans le Golfe de Guinée : Évaluation de son amplification dans l'estuaire du Cameroun

R. ONGUENE⁽¹⁾⁽²⁾, F. LYARD⁽¹⁾, Y. DU-PENHOAT⁽¹⁾,
D. ALLAIN⁽¹⁾, P. MARSALEIX⁽³⁾, T. DUHAUT⁽³⁾

Ce travail porte sur une configuration réaliste du spectre de marée dans le Golfe de Guinée, réalisé à partir du modèle océanique T-UGOm (Toulouse Unstructured Grid Ocean model). L'élévation de la surface libre et les courants sont calculés. Nous regardons aussi le rôle de la bathymétrie et de la convergence du canal de l'estuaire dans l'amplification de la marée en excitant la frontière océanique avec plusieurs fréquences. Ensuite nous regardons la propagation de chaque onde le long du canal. Pour validation, nous avons effectué la différence entre les constantes harmoniques de la région obtenues par les marégraphes (GLOSS et ports) disponibles, ou celles des constantes obtenues de l'altimétrie satellitaire des missions Topex/Poseidon, Jason-1 et Jason-2 (1993-2012) avec celles du modèle. Pour l'onde de marée M2, dans l'estuaire on obtient des erreurs de l'ordre 2 cm avec l'altimétrie, là où les modèles globaux montrent 10 cm. Ceci peut être due au raffinement de la maille non structurée dans les zones peu profondes et à la qualité de la bathymétrie. Cependant on note que l'amplitude M2 présente des erreurs d'environ 1 cm en zone côtière, pour les marégraphes GLOSS. Tandis qu'on a des différences de 10 cm avec les autres marégraphes (Kribi, Douala-Japoma, et port de Douala). Les simulations montrent aussi que ni les ondes semi-diurne, ni les ondes diurnes ne résonnent, on pourrait donc attribuer l'amplification de la marée à la convergence du canal.

Une évaluation de la qualité des données marégraphiques au Cameroun a été faite. Sur la base des stations accessibles, on note que l'archivage ne se fait pas correctement. Les résultats de cette étude sont publiés dans l'article : *Onguene, R., et al. (2015) Overview of Tide Characteristics in Cameroon Coastal Areas Using Recent Observations. Open Journal of Marine Science, 5, 81-98. <http://dx.doi.org/10.4236/ojms.2015.51008>.*

La JEA-RELIFOME souhaite à terme (2018) superviser la collecte des données marégraphiques, maintenir le réseau et installer de nouvelles stations.



⁽¹⁾ LEGOS/OMP UMR 5566 (CNES-CNRS-IRD-UPS), 14 Avenue Édouard Belin, F-31400 Toulouse-France
⁽²⁾ Jeune Equipe Associées à l'IRD « Réponse du Littoral Camerounais au Forçage Océanique Multi-Echelle » ;
Université de Douala-Cameroun
⁽³⁾ Laboratoire d'Aérodynamique, CNRS et Université de Toulouse, 14 Avenue Édouard Belin, 31400 Toulouse,
France
ziongra@yahoo.fr

Étude des oscillations marines de basse fréquence pouvant induire une potentielle submersion marine sur un littoral microtidal. Cas du littoral Algérois (Port d'Alger)

Yacine HEMDANE⁽¹⁾, Lazreg BENSLAMA⁽¹⁾

Bien que Gornitz (1992) ait classé les littoraux microtidaux (faible marnage < 2 m) dans le rang des côtes les moins vulnérables, ces mêmes côtes sont présentement identifiées comme extrêmement sensibles (McLaughlin et Cooper, 2010 ; Mujabar et Chandrasekar, 2013) et ce, en raison du faible marnage laissant ainsi les tempêtes impacter le littoral microtidal continument à « marée haute ». En outre, les littoraux microtidaux, tels que ceux de la Méditerranée, peuvent dans certains cas générer des hausses soudaines du niveau de la mer engendrées par certaines oscillations marines de basses fréquences. Ces dernières peuvent être produites lors des perturbations atmosphériques associées aux effets de résonance (baie, ports, etc). Ces ondes, appelées « meteorological tsunami » (« meteotsunami ») (Rabinovich and Monserrat, 1998; Rabinovich et al., 2009; Joseph, 2011), sont mises en évidence en Méditerranée (Drago, 2009 ; Jordi et al., 2008) et ont un grand impact sur les inondations littorales (Vilibic, 2006). Par ailleurs, la marge algérienne, particulièrement dans sa partie centrale, manifeste une sismicité très active. Cette activité constitue un risque potentiel qui peut s'adjoindre à l'aléa météorologique.

L'un des objectifs de ce travail est le traitement du signal marégraphique mesuré au niveau du port d'Alger, entre le 21 juin 2002 et le 21 juillet 2002 à l'aide du marégraphe numérique de l'Office National de la Signalisation Maritime (ONSM). L'analyse spectrale (Welch) et les différents filtres (Butterworth) appliqués au signal étudié ont montré la présence des énergies spectrales relatives à la gamme fréquentielle des météotsunamis. Ces résultats sont en outre corroborés par ceux issus des filtres appliqués au signal marégraphique brut montrant la présence d'ondes extra-tidales pouvant être générées aussi bien par les perturbations atmosphériques que par les effets de résonance liés à la morphologie côtière, sous-marine et/ou portuaire. Aussi, ces résultats montrent l'importance des marégraphes numériques à haute fréquence de mesures (*e.g.*, 0.016 Hz) tant dans l'étude de certains phénomènes hydrodynamiques pouvant générer une submersion marine locale que dans l'ingénierie côtière.

⁽¹⁾ Laboratoire de Géo-Environnement Faculté des Sciences de la Terre, Géographie et Aménagement du Territoire USTHB - yacinehemdane@gmail.com

Inondations côtières sur les récifs frangeants de Fidji et Tuvalu

Cyprien BOSSERELLE⁽¹⁾, Herve DAMLAMIAN,
Jens KRÜGER,

Chaque année, les inondations côtières dans les pays et territoires insulaires du Pacifique sont la cause de dommages conséquents et parfois de la perte de vies humaines. Souvent, ces inondations sont liées à la superposition d'un haut niveau moyen de la mer, d'une forte marée et de hautes vagues. Pour mieux comprendre l'interaction entre le niveau de la mer et l'action des vagues sur les récifs frangeants et les atolls du Pacifique, des instruments mesurant les vagues et le niveau de l'eau ont été déployés sur 2 sites à Tuvalu et Fidji. Les observations montrent la complexité de l'interaction entre le niveau moyen de la mer, la marée et la houle. En particulier, la formation, propagation et dissipation des ondes infragravitaires qui dominant sur le plateau récifal.

Ces observations sont ensuite utilisées pour valider un modèle numérique d'inondation côtière capable de simuler ces interactions. Le modèle peut ensuite servir d'outil de prévision pour supporter des systèmes d'alertes pour les villages côtiers.

MERCREDI 3 FÉVRIER

Les surcotes marines



Notes



Les surcotes marines : phénomènes, observation, modélisation, événements extrêmes et enjeux

Déborah IDIER⁽¹⁾, Rodrigo PEDREROS⁽¹⁾

Les événements de submersion côtière résultent de nombreux phénomènes dont la marée, les surcotes, les vagues et les défaillances d'ouvrages de défense. Parmi les événements de submersion marquants, on peut noter la tempête de 1953 qui engendra de sévères dégâts aux Pays-Bas, en Angleterre et en Allemagne. Les surcotes atteignirent alors 1,5 à 2,5 m. Des événements plus récents comme Katrina (2005) ou Xynthia (2010) illustrent l'effet potentiellement dévastateur que peuvent avoir les surcotes en domaine littoral. L'ouragan Katrina a généré une surcote excédant localement 9 m le long des côtes du Mississippi. Xynthia a engendré une surcote plus faible de 1,53 m, mais coïncidant avec une pleine-mer de vive-eau. Lorsque cet événement s'est produit, les statistiques disponibles ne permettaient pas d'estimer la période de retour de cette surcote ou du niveau d'eau associé. Tout au plus pouvait-on affirmer que la période de retour du niveau d'eau atteint était supérieure à 100 ans. Depuis, de nouvelles méthodes d'analyse en valeurs extrêmes ont été développées, comme par exemple la régionalisation statistique. En outre, la connaissance des événements historiques non enregistrés (antérieurs aux mesures des marégraphes) est apparue comme une information précieuse. De nouvelles méthodes statistiques intégrant ces événements ont d'ailleurs vu le jour. En matière de prévision des surcotes, il existe différents systèmes, y compris en environnement cyclonique. Selon les systèmes, la modélisation des surcotes est plus ou moins avancée en termes de résolution spatiale et de phénomènes pris en compte. En effet, des travaux récents, basés sur la modélisation ou l'analyse de mesures, ont montré que les surcotes pouvaient potentiellement interagir avec de nombreux phénomènes (ex : marée). En outre la contribution des vagues dans la surcote totale s'avère être un élément déterminant. En effet, elle peut représenter plus de 50 % de la surcote totale dans certains environnements. Cependant, cette contribution des vagues (*wave set-up*) fait l'objet de peu de mesures systématiques en domaine ouvert, et n'est par exemple que très rarement intégrée dans les systèmes de prévision.

Ces exemples illustrent le besoin d'une meilleure compréhension des phénomènes de surcotes, de leur quantification, de leur prévision, de l'estimation de leur période de retour et d'une meilleure connaissance et intégration des événements historiques, antérieures aux mesures marégraphiques.

Ce sont autant de défis à relever aussi bien d'un point de vue recherche qu'opérationnel. Dans la présente communication, nous introduirons les principaux enjeux associés à la connaissance des surcotes. Nous rappellerons ensuite les phénomènes en jeu. L'état de l'art et les défis à relever en termes d'observation, modélisation et probabilités seront ensuite exposés et discutés. Nous traiterons des environnements métropolitains et cycloniques.

⁽¹⁾ BRGM - d.idier@brgm.fr

Surcotes et submersions : histoire européenne et déclinaisons locales (XIV^e – XXI^e siècles)

Emmanuel GARNIER⁽¹⁾, Thierry SAUZEAU⁽²⁾

L'histoire des surcotes et des submersions confronte l'historien à la nécessité de croiser les approches. En effet, dans les archives rares sont les références au niveau de la mer, et quand bien même elles existent, les référentiels de l'époque considérée sont bien délicats à manipuler. De nature qualitative, les témoignages les plus anciens ne se soucient guère du niveau marin atteint. C'est entre les siècles du Classicisme et des Lumières que les observations instrumentales apparaissent. Elles proviennent de différents cercles militaires d'abord (autour de la Marine de Louis XIV) puis érudits (les cabinets de curiosité des bourgeois éclairés et leurs stations météo) avant que ne se structurent les corps d'ingénieurs (Ponts et chaussées au XVIII^e siècle). Cette documentation renouvelée est quantitative. Si elle n'annule pas la production des documents qualitatifs, elle vient la préciser.

Faute de disposer de données instrumentales robustes avant le XIX^e siècle, l'historien est contraint de composer avec un corpus documentaire diversifié, majoritairement constitué d'observations textuelles ou iconographiques. Ainsi, plus que la surcote, il étudie la « trace sociale » de ce phénomène météorologique, autrement dit les submersions qui affectaient régulièrement les sociétés littorales anciennes. Pour autant, il ne renonce pas à évaluer la fréquence et l'intensité des extrêmes des 500 dernières années dans le cadre de recherches en cours pour le projet européen FP 7 Risc-Kit et l'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire).

Nonobstant, l'expertise historique ne se limite pas à la seule évaluation météorologique. Les multiples exemples de submersions glanés dans les sources représentent de précieux retours d'expériences en termes d'aménagements des littoraux et de systèmes d'alerte. À ce titre, ils sont autant de pistes de prévention et d'adaptation à prendre en considération à l'heure où les États et l'Union Européenne tentent de promouvoir une nouvelle politique de remaniement du trait de côte.

Projet NIVEXT- Amélioration de la connaissance des tempêtes passées sur le littoral Atlantique-Manche

Camille DAUBORD ⁽¹⁾, Gaël ANDRÉ, Virginie GOIRAND

Le projet NIVEXT visant à analyser les niveaux marins extrêmes mesurés lors d'événements tempétueux (120 événements ciblés depuis le milieu du XIX^e siècle) s'est achevé en octobre 2015. Cette étude a permis d'établir un référentiel des niveaux marins et des surcotes atteints lors de ces événements. Le travail a été mené pour le littoral Atlantique-Manche pour lequel l'ensemble des données marégraphiques disponibles au SHOM (archives et bases de données) a été revisité.

Le travail prospectif mené aux archives a permis d'évaluer le potentiel des données marégraphiques d'archives du SHOM pour l'étude de ces événements de tempête. L'ensemble des événements a été principalement étudié à partir des données connues et disponibles au format numérique, à défaut d'un apport conséquent de données d'archives novatrices et exploitables. Les synthèses proposées pour chaque événement permettent d'avoir une vue globale et instantanée sur les principaux enseignements de l'analyse des données marégraphiques (disponibilité et représentativité des données à la côte, et grandeurs observées).

L'étude a permis de caractériser l'intensité de ces événements et d'identifier les situations les plus exceptionnelles, que ce soit pour les hauteurs d'eau ou les intensités des pics de surcote, à l'échelle globale Atlantique-Manche et à des échelles plus régionales. Le rapport produit fait le bilan de ce que les observations marégraphiques peuvent apporter à la connaissance des niveaux extrêmes. Ce rapport contient des fiches « tempêtes » rassemblant pour chaque événement extrême donné l'ensemble des paramètres météo-marins maximum observés (hauteur, surcote de pleine mer, surcote instantanée) issus des observatoires marégraphiques, et des fiches « ports » rassemblant pour chaque observatoire marégraphique les événements extrêmes mesurés et les résultats de l'analyse des phénomènes de seiches portuaires qui peuvent amplifier significativement les hauteurs d'eau observées par les marégraphes. Les synthèses ainsi produites tant pour les événements de tempête étudiés que pour chaque port pourront servir les besoins des PPML et enrichir la Base de Données Historiques sur les Inondations (BDHI). Par ailleurs, la base de connaissance d'événements marquants en terme de surcotes instantanées atteintes pourra servir de support pour orienter des modélisations hydrodynamiques, et proposer des scénarios fictifs plus pénalisants.

⁽¹⁾ camille.daubord@shom.fr

L'information historique dans les statistiques de niveaux d'eau extrêmes

Thomas BULTEAU⁽¹⁾, Déborah IDIER⁽¹⁾, Jérôme LAMBERT⁽¹⁾,
Manuel GARCIN⁽¹⁾,

L'analyse statistique classique de séries temporelles de niveaux d'eau se confronte parfois au phénomène d'horsain (*i.e. niveaux d'eau extrêmes beaucoup plus élevés que les autres valeurs de l'échantillon*) qu'il est souvent difficile d'interpréter et qui induit de larges incertitudes sur les résultats. Afin de relativiser ces valeurs extrêmes et de réduire les incertitudes statistiques, une méthode est proposée permettant de combiner l'information historique contenue dans des archives sur des événements passés antérieurs à la période de mesures systématiques, avec les séries temporelles marégraphiques récentes. Cette méthode bayésienne MCMC (Markov Chain Monte Carlo) permet d'intégrer toute sorte d'information historique, partielle ou non, avec ses propres incertitudes. L'application à La Rochelle sur la probabilité annuelle de dépassement d'un niveau d'eau tel qu'enregistré lors de la tempête Xynthia en 2010, basée sur 30 années de données systématiques et 8 événements historiques montre que : (1) le niveau d'eau de Xynthia n'apparaît plus comme un horsain, (2) la probabilité annuelle de dépassement d'un tel niveau aurait pu raisonnablement être prédite avant l'évènement. Ces résultats illustrent la richesse et l'utilité de l'information historique dans l'analyse statistique des niveaux d'eau extrêmes et soulignent l'importance de conserver la mémoire du risque.

Analyse Régionale des aléas maritimes

Pietro BERNARDARA ⁽¹⁾, Marc ANDREWSKY ⁽²⁾

Connaître la probabilité d'occurrence des aléas océano-météorologiques extrêmes est fondamental pour prévenir les risques de submersion marine en zone côtière ou concevoir des aménagements côtiers, portuaires ou des plateformes offshore. Notamment, le concept de niveau de retour est fréquemment utilisé en ingénierie côtière pour dimensionner des ouvrages de protection. Ces niveaux, dont les probabilités annuelles d'occurrence d'intérêt se situent généralement entre 10^{-2} et 10^{-3} , sont habituellement estimés par une analyse statistique locale, à partir de données observées en un site unique. Cependant, la période d'observation est généralement limitée, de sorte que les incertitudes associées aux niveaux de retour élevés sont importantes. L'analyse régionale représente une solution possible pour réduire les incertitudes inhérentes aux analyses locales. Le principe est d'exploiter l'information de sites d'observation provenant d'une région homogène, où les extrêmes sont supposés avoir un comportement probabiliste similaire. L'analyse régionale peut ainsi estimer les niveaux de retour de manière plus fiable qu'une analyse locale. Cependant, son application dans le domaine maritime étant relativement limitée et récente, différentes questions méthodologiques demeurent non-résolues, comme la formation des régions homogènes ou le traitement de la dépendance entre sites. Dans cette contribution, on présentera une application de l'analyse régionale aux données maritimes ainsi que quelques considérations autour de l'utilisation des données historiques dans un cadre d'analyse régionale.

⁽¹⁾ EDF Energy R&D UK Centre : pietro.bernardara@edfenergy.com

⁽²⁾ EDF R&D LNHE

Modélisation de la dépendance entre la marée et la surcote météorologique pour l'estimation des niveaux marins extrêmes en sites à fort marnage

Xavier KERGADALLAN^{(1) (2)}, Michel BENOIT^{(2) (3)},
Pietro BERNARDARA^{(2) (4)}

La connaissance du niveau d'eau marin à la côte est essentielle pour la caractérisation du risque de submersion marine. On s'intéresse plus particulièrement aux événements extrêmes, autrement dit les niveaux d'eau qui ont une faible probabilité d'être dépassés, car ce sont eux qui ont les conséquences les plus graves. Bien que la probabilité soit faible, ces événements peuvent se produire aujourd'hui comme demain, voire aujourd'hui et demain.

La présentation porte sur l'estimation des valeurs extrêmes de niveau d'eau en l'absence des effets des vagues, sur le littoral métropolitain de la Mer du Nord, la Manche et l'Atlantique. Seuls les niveaux de pleine mer sont étudiés ici par le biais d'une approche indirecte. Les lois de distribution de niveau de marée de pleine mer (PM) et de surcote météorologique PM sont étudiées séparément dans un premier temps, puis combinée afin de définir la loi de probabilité du niveau résultant.

La méthode de référence pour caractériser la loi de distribution des niveaux d'eau PM à partir des observations PM de marée et de surcote météorologique est la Revised Joint Probability Method (RJPM) de Tawn et Vassie (1989). La RJPM repose sur l'hypothèse d'indépendance marée / surcote météorologique. Toutefois cette hypothèse ne semble pas toujours vérifiée.

Trois méthodes différentes sont proposées ici pour modéliser la dépendance marée/surcote météorologique. La première s'intéresse à une dépendance saisonnière et les deux autres à une dépendance liée à l'interaction de la surcote météorologique avec le niveau de marée.

Pour illustrer les éventuelles plus-values de ces trois méthodes sur les estimations des valeurs extrêmes de niveau d'eau, ces méthodes sont appliquées à 19 sites différents correspondant à des ports disposant d'observations marégraphiques de durée supérieure à 10 ans.

Les résultats semblent montrer que la dépendance saisonnière n'influence pas les estimations statistiques des valeurs extrêmes de niveau d'eau sans l'action des vagues si l'on prend en référence les résultats de la RJPM. La dépendance liée à l'interaction de la surcote météorologique avec la niveau de marée semble jouer un rôle plus important. Les méthodes développées permettent d'obtenir de nouvelles estimations des valeurs extrêmes.

⁽¹⁾ Cerema Direction technique Eau mer et fleuves, Technopole Brest-Iroise, 29280 Plouzané, France

⁽²⁾ Université Paris-Est, Laboratoire d'Hydraulique Saint-Venant (ENPC, EDF R&D, Cerema), Chatou, France

⁽³⁾ EDF R&D Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (LNHE), 6 quai Watier, 78401 Chatou, France

⁽⁴⁾ EDF Energy R&D UK Centre, London, Cardinal Place, 80 Victoria Street, SW1E 5JL, London, United Kingdom

Surcotes et submersions marines dans la partie centrale du Golfe de Gascogne

Xavier BERTIN⁽¹⁾,

Le Golfe de Gascogne est exposé à des dépressions extratropicales qui peuvent induire de fortes surcotes, des états de mer très énergétiques et des pertes humaines et matérielles importantes. Les travaux présentés dans cet exposé ont été initiés suite à la tempête Xynthia, qui a sévèrement touché la partie centrale du Golfe de Gascogne en février 2010. Malgré des champs de vent et de pression atmosphérique en apparence classiques pour une tempête hivernale, Xynthia a généré une surcote de plus d'1.6 m en phase avec une marée haute de vives-eaux, ce qui a entraîné l'inondation des zones basses du littoral (figure 1). Cette surcote exceptionnelle a été expliquée par le développement d'un état de mer caractérisé par des vagues jeunes et cambrées, qui a décuplé la contrainte de surface. Dans une moindre mesure, nos résultats numériques montrent que le setup induit par les vagues déferlant au large se propage jusque dans les estuaires abrités de l'agitation et contribue à la surcote à hauteur de 0.1 m. Ce phénomène peut être bien plus important pour des états de mer extrêmes, comme ce fut le cas lors de la tempête Klaus (janvier 2009) avec des hauteurs significatives proches de 15 m au large. Pour cette tempête, nos résultats numériques montrent le développement d'un setup dépassant localement 0.5 m et dominant la surcote dans la partie sud du Golfe de Gascogne. L'analyse de la simulation numérique de la submersion associée à Xynthia a révélé que de telles submersions massives pouvaient limiter les hauteurs d'eau en mer par rapport à une situation où la submersion serait empêchée. Ce phénomène remet en question les approches classiques d'ingénierie reposant sur des emboîtements de grille et a aussi des implications importantes en termes de stratégie de défense de côte.

⁽¹⁾ E-mail : xbertin@univ-lr.fr

Performances et évolutions du modèle opérationnel de prévision des surcotes HYCOM (2D) - projet HOMONIM

Audrey PASQUET⁽¹⁾, Rémy BARAILLE⁽¹⁾,
Didier JOURDAN⁽¹⁾

Le projet HOMONIM - Historique, Observation, MOdélisation des Niveaux Marins - est un projet commun du SHOM et de Météo-France, sous maîtrise d'ouvrage de la Direction Générale pour la Prévention des Risques (DGPR), et qui s'inscrit dans le cadre du Plan interministériel Submersions Rapides (PSR).

La phase-I du projet (2012-2015) touche à sa fin et avait pour objectif d'améliorer le dispositif de Vigilance face au risque de Vagues et Submersions marines (VVS). La phase-II (2016-2019) vise à poursuivre les efforts d'amélioration continue des outils pour la gestion de crise en cas de submersion marine, ainsi qu'à développer des modèles de prévision des vagues et des surcotes sur l'Outre-Mer, en capitalisant sur ceux qui viennent d'être réalisés et sont mis en œuvre pour les côtes métropolitaines.

Nous proposons de faire une revue des résultats pour l'axe « modélisation des hauteurs d'eau et des surcotes », avec un focus sur ceux obtenus pour la prévision des surcotes avec le modèle HYCOM du SHOM.

Deux configurations en version barotrope ont été mises au point sur les domaines « Méditerranée » (MED) et « Golfe de Gascogne-Manche- Mer du Nord » (ATL). Les études de sensibilité qui ont conduit à la mise en exploitation opérationnelle de ces configurations seront discutées, et les performances du système présentées.

Une description des développements en cours visant à améliorer la capacité de prévision sera donnée. Parmi ces développements, des travaux sur le couplage de modèles de vagues (WW3) et de niveaux marins (HYCOM) à très haute résolution seront notamment présentés.

Importance de la représentation spatiale des surcotes marines lors des tempêtes en contexte microtidal

Sylvain ELINEAU⁽¹⁾, Alexandre Nicolae LERMA⁽²⁾,
François PARIS⁽²⁾, Rodrigo PEDREROS⁽²⁾

En contexte micro-tidal, lors d'événements de tempête, la surcote atmosphérique et la surcote liée au déferlement des vagues (*wave setup*) représentent les contributions majoritaires au niveau d'eau moyen total à la côte. En Méditerranée, du fait de l'intensification rapide des phénomènes de tempête, ces contributions interviennent le plus souvent en simultané (en l'espace de quelques heures) provoquant des submersions ou favorisant l'érosion des plages et des fronts dunaires. Ces contributions peuvent toutefois être spatialement sensiblement différentes du fait du caractère exposé ou abrité du littoral et de la morphologie pré-littorale.

Dans le cadre du projet CRISSIS, dont l'objet est de développer une approche intégrée et opérationnelle du risque de submersion marine sur une commune où se concentrent de forts enjeux urbains (commune de Leucate dans l'Aude), une modélisation fine des processus marins à l'origine de la surélévation des niveaux d'eau à la côte a été réalisée.

Le modèle MARS-2DH (Lazure et Dumas, 2007) chaîné au modèle de vagues SWAN permet de simuler les conditions hydrodynamiques en tenant compte des interactions vagues-niveaux-courants et ainsi d'intégrer l'ensemble des phénomènes susceptibles de contribuer à la surélévation du niveau d'eau à la côte lors des tempêtes.

La simulation des conditions de tempête de mars 2013 sur le littoral de la Lagune de Leucate a permis de mettre en évidence une contribution relative des différents facteurs à l'origine des surélévations du niveau d'eau, au large, sur les plages ou dans le port. La contribution du *wave setup* à la surélévation totale est de l'ordre de la moitié du niveau total sur le front de mer et représente environ 1/3 dans le port. Ces résultats mettent en évidence à l'échelle du site, le rôle prépondérant de la contribution du *wave setup* dans l'estimation des niveaux d'eau lors des tempêtes et la nécessité de prendre en compte ces différences spatiales. Ainsi, la modélisation couplée dans ce type de conditions permet une évaluation pertinente des niveaux d'eau sur les plages ou dans les ports en vue de la caractérisation réaliste de l'aléa submersion.

⁽¹⁾ Laboratoire de Géographie Physique UMR 8591 - elineau.sylvain@gmail.com

⁽²⁾ BRGM, Direction Risques et Prévention, Unité Risques Côtiers et Changement Climatique, Orléans

Prévision des niveaux d'eau extrêmes : les effets des ondes infra-gravitaires et de l'érosion

Dano ROELVINK⁽¹⁾⁽²⁾, Ap van DONGEREN⁽²⁾, Maarten van ORMONDT⁽¹⁾⁽²⁾, Robert McCALL⁽²⁾, Johan REYNS⁽¹⁾⁽²⁾,

Dans les instituts de Deltares, TU Delft et UNESCO-IHE à Delft, Pays-Bas, on a depuis longtemps développé des modèles numériques intégrés comme Delft3D, pour simuler les processus des vagues, courants, transport sédimentaire et évolution morphologique. Beaucoup d'efforts ont été mis dans la prévision des surcotes et les conditions de vagues près des côtes, importantes conditions aux limites pour la conception des digues et autre constructions.

Pourtant, depuis une dizaine d'années, on s'est aperçu de l'importance des ondes infra-gravitaires (IG) pendant les tempêtes ou les épisodes de fortes houles. Ce phénomène, qui n'est normalement pas pris en compte dans les prévisions, provient de la variation des groupes d'ondes qui génère des ondes de très longue période (de l'ordre de plusieurs minutes), surtout sur des côtes avec des profils à pente faible (par exemple des plages dissipatives) ou avec des récifs. Sans connaissance des ondes IG, on pourrait estimer que toute l'énergie est dissipée bien avant d'arriver au pied de la digue ou de la dune, alors que le *runup* IG peut atteindre plusieurs mètres. Un exemple récent concerne l'inondation de plusieurs villages côtiers aux Philippines durant le cyclone Haiyan en 2013, dans des lieux où les modèles ne prévoient pas des surcotes importantes.

Ces ondes IG sont aussi des ondes qui frappent et érodent les dunes pendant les tempêtes et qui surpassent les îles barrières, menant à des débordements (*overwashing*) et des ruptures dans le cordon dunaire (*breaching*), ce qui peut avoir un important effet sur des hauteurs d'eau dans les lagunes.

Le modèle XBeach (Roelvink et al., 2009), développé depuis 2005 surtout pour simuler l'érosion des dunes, a été étendu vers les récifs, les mangroves, les plages de gravier, et pour évaluer les risques d'inondation des zones côtières urbanisées. Plus récemment, les formalismes ont été intégrés dans le modèle à maillage non-structuré Delft3D-FM, ouvrant des possibilités de modéliser des géométries plus complexes. Dans la présentation, ces développements et exemples d'applications seront abordés.

JEUDI 4 FÉVRIER

Comprendre l'évolution du niveau de la mer



Notes



Les variations actuelles du niveau de la mer en réponse au changement climatique

Benoit MEYSSIGNAC ⁽¹⁾,

Depuis plus d'un siècle les marégraphes indiquent que le niveau de la mer augmente à la vitesse de 1.8 mm/an. Cette augmentation est rapide comparée aux faibles variations de ± 0.3 mm/an que le niveau de la mer a connu au cours des trois derniers millénaires. Depuis 22 ans cette hausse rapide tend à s'accélérer encore et atteint la vitesse de 3.3 mm/an comme le montrent les observations satellites. Ce phénomène est essentiellement due à 4 processus climatiques : l'augmentation du contenu thermique de l'océan, la fonte des glaciers de montagne, la perte de glace des calottes polaires et les échanges d'eau avec les terres émergées. Depuis plusieurs années, on dispose de divers systèmes d'observation spatiaux et *in situ* permettant d'estimer à la fois les variations globales et régionales de la mer (l'altimétrie spatiale de haute précision et la marégraphie) ainsi que les principales contributions climatiques : le système Argo pour la mesure des variations de température et de salinité de la mer ; la gravimétrie spatiale GRACE pour estimer les variations de masse de l'océan et des stocks d'eaux continentales ; l'altimétrie laser et radar, GRACE et l'interférométrie radar pour quantifier le bilan de masse des calottes polaires ; l'imagerie spatiale haute résolution et des mesures de terrain pour estimer la fonte des glaciers. Utilisées conjointement avec la modélisation, ces observations permettent d'étudier le « bilan » du niveau de la mer aux échelles globale et régionale, et donc de mieux comprendre les processus en jeu. Après une présentation synthétique des connaissances sur la hausse actuelle de la mer et ses causes, nous montrerons le lien qu'il existe entre les processus responsables de la hausse du niveau de la mer et le changement climatique actuel qui est due aux émissions anthropiques de gaz à effet de serre.

⁽¹⁾ benoit.meyssignac@legos.obs-mip.fr

Polar ice sheets and sea-level rise: threats and uncertainties

Gaël DURAND, équipe GLACE - LGGE ⁽¹⁾

During the last 20 years, the Greenland and Antarctic ice sheets have been losing mass with an increasing rate. They now significantly contribute to sea-level rise and will most probably continue in the foreseeable future. Their potential total contribution is tremendous as ice sheets contain tens of meters of sea level equivalent. However, the rate of their coming outflow remains speculative. In particular both ice sheets may exhibit some instability processes that could be initiated once oceanic or atmospheric perturbations exceed a given threshold. Once engaged in such instabilities, ice sheet mass loss is self-entertained and large regions may collapse. This lecture will describe the essential processes at the origin of the observed ice sheets' imbalance, our current knowledge on potential tipping points and highlight the main reasons of the uncertainties in the projection of ice sheets' contribution to sea level.

Les représentations du niveau de la mer dans les modèles de circulation générale de l'océan et du climat

Philippe Rogel⁽¹⁾, URA1875/CERFACS/CNRS

Les projections de l'évolution du niveau de la mer dans le cadre du changement climatique sont une donnée de base pour l'étude des impacts locaux ou régionaux. Si les modèles de climat ne donnent qu'une part du signal de ces projections en moyenne sur le globe (le reste du signal étant issu d'autres modélisations, comme par exemple le GIA), ils donnent de précieuses indications sur la répartition géographique de ces projections, fortement contrainte par la répartition des changements de densité, et pertinente pour les études d'impacts. Le réalisme de la représentation de la variable « niveau de la mer », tant dans les modèles de circulation générale océanique, que dans les modèles couplés du système Terre utilisés dans les exercices internationaux d'intercomparaison (de type CMIP) a significativement progressé depuis une vingtaine d'année. Ceci grâce à la fois aux intenses efforts d'observation (marégraphie et altimétrie notamment), mais aussi aux améliorations des modèles allant de pair avec l'augmentation de la puissance de calcul disponible.

Cette présentation passe en revue les représentations du niveau de la mer dans les modèles de circulation générale de l'océan et du climat, tant du point de vue des principes de modélisation que de l'évolution des performances et de l'utilisation des modèles (climat, reconstructions/réanalyses, etc.). Un état de l'art du réalisme des simulations récentes en termes de niveau de la mer est présenté. Les évolutions en cours ainsi que les nouveautés attendues pour le prochain exercice CMIP6 (en amont des prochains rapports du GIEC) sont mises en perspectives.

⁽¹⁾ rogel@cerfacs.fr

Reconstitutions holocènes du niveau marin relatif et modèles de réajustement isostatique : Apports pour la calibration des observations actuelles d'évolution du niveau marin. Application à l'Europe de l'ouest

Jérôme GOSLIN⁽¹⁾⁽²⁾, Brigitte VAN VLIET LANOË⁽²⁾,
Giorgio SPADA⁽³⁾, Sarah BRADLEY⁽⁴⁾, Lev TARASOV⁽⁵⁾,
Simon NEILL⁽⁶⁾, Serge SUANEZ⁽¹⁾,

Les tendances actuelles d'évolution du niveau marin sont issues de séries d'observation obtenues par les marégraphes ou l'altimétrie satellitaire. Toutefois, les données brutes issues de ces moyens d'observation contiennent plusieurs signaux surimposés au signal « niveau marin », et notamment des signaux « non climatiques » résultant des mouvements verticaux des masses continentales et des déplacements de masse à l'intérieur de la Terre. Dans l'hémisphère nord, exception faite des zones tectoniquement actives et des régions des grands deltas côtiers, l'essentiel des mouvements verticaux de la surface terrestre sont liés aux phénomènes de réajustement isostatique post-glaciaire (GIA), induits par la fonte des inlandsis continentaux depuis le dernier maximum glaciaire. De nos jours, seuls les modèles géophysiques de réajustement isostatiques (ou « GIA models ») permettent d'estimer la contribution des dynamiques de GIA au signal de niveau marin observé par les marégraphes et satellites. Ainsi, le développement de modèles fiables est indispensable pour corriger les observations satellitaires de la partie non-climatique du signal et ainsi, pour permettre de quantifier plus précisément la part « climatique » de l'évolution actuelle du niveau marin à l'échelle régionale. Or, la validation de ces modèles nécessite une calibration empirique à partir de reconstitution millénaire à pluri-millénaires du niveau marin relatif.

Cette présentation s'articulera autour des résultats de l'étude que nous avons récemment menée sur l'évolution du niveau marin relatif en Bretagne (France) durant les huit derniers millénaires. Au travers des résultats de cette étude, nous illustrerons les difficultés liées à la calibration et à l'utilisation des modèles de réajustement isostatiques pour la correction du bruit induit par les mouvements verticaux de la surface terrestre dans les séries d'observation actuelle d'évolution du niveau marin. En effet, la reconstitution d'une courbe fiable d'évolution du niveau marin en Bretagne nous a permis de mettre en lumière les décalages importants qu'il existe entre nos résultats et (i) les données d'évolution du niveau marin obtenus sur la même période dans le sud-ouest de l'Angleterre et (ii) les prédictions des modèles de GIA. Ces résultats ont des implications importantes pour l'explication des décalages observés entre les séries d'observations obtenues par les marégraphes de Brest et Newlyn (Cornouaille Anglaise) et mettent en lumière plusieurs phénomènes qui pourraient être incorrectement pris en compte par les modèles. D'une manière générale, les résultats de notre étude confirment la prudence qu'il convient de garder vis-à-vis des résultats fournis par les modèles géophysiques et plaident pour la nécessité de disposer, au niveau régional, de reconstitutions pluri-millénaires du niveau marin fiables et précises.

Present-day tendencies of sea-level changes are measured using tide-gauges and satellite altimetry observation series. Yet, these techniques deliver raw data in which several signal are superimposed over the sea-level signal, and notably “non-climatic” signals induced by the vertical movements of the Earth’s surface and mass displacements within the Earth interior. In the northern Hemisphere, at the exception of tectonically active areas and large deltaic regions, most vertical movements of the Earth’s surface are induced by the Glacio-Isostatic Adjustments (GIA) dynamics that have followed the disappearance of continental ice-sheets after the Last Glacial Maximum. Today, only geophysical GIA models allow to estimate the contribution of GIA induced vertical movement of the Earth’s surface to the sea-level tendencies extracted from tides-gauges and satellite altimetry observations. Hence, developing and possessing reliable GIA models is crucial to correct present-day observations of sea-level changes from the noise induced by non-climatic signals, in order to better evaluate climate-related regional sea-level changes. Yet, such GIA models require empirical calibrations to be validated. Such validations heavily rely on long-term pluri-millenaries relative sea-level reconstructions.

This presentation will be built upon the recent study we made dealing with relative sea-level evolution in the Brittany (France) region along the last 8 ky B.P. Throughout the results of this study, we will illustrate the difficulties that can arise from calibrating and using GIA models to correct vertical movements of the Earth’s surface within present-day observations of sea-level change. Indeed, the reconstruction of a reliable Holocene relative sea-level curve for the Brittany region lead us to highlight the large misfits that exist between our data and (i) the sea-level data obtained in southwestern UK over the same period and (ii) GIA models predictions. These results have major implications when it comes to explain the vertical discrepancies observed between the sea-level tendencies drawn from the tides-gauges of Brest and Newlyn (Cornwall, UK) and highlight for several phenomena to be potentially mis-accounted by the models. Generally speaking, our results confirm that the predictions of GIA models must still be taken with some caution. Furthermore, we plead that reliable and precise pluri-millenaries relative sea-level reconstructions are still necessary to be obtained at a regional scale if precise present-day and future tendencies of sea-level are to be obtained.

*References: Goslin, J., Van Vliet Lanoë, B., Spada, G., Bradley, S., Tarasov, L., Neill, S., Suarez, S., 2015. A new Holocene relative sea-level curve for western Brittany (France): Insights on isostatic dynamics along the Atlantic coasts of north-western Europe. *Quaternary Science Reviews* 129, 341–365. doi:10.1016/j.quascirev.2015.10.029*

⁽¹⁾ Geomer Laboratory, UMR 6554 CNRS LETG, European Institute for Marine Studies, 1 Place Nicolas Copernic, 29280, Plouzané, France

⁽²⁾ Domaines Océaniques Laboratory, UMR 6538 CNRS, European Institute for Marine Studies, 1 Place Nicolas Copernic, 29280, Plouzané, France

⁽³⁾ Dipartimento di Scienze di Base e Fondamenti, University of Urbino “Carlo Bo”, Via Santa Chiara 27, I e 61029, Urbino, PU, Italy

⁽⁴⁾ Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht (IMAU), Utrecht University, Princetonplein 5, 3584, CC Utrecht, Netherlands

⁽⁵⁾ Department of Physics and Physical Oceanography, Memorial U

⁽⁶⁾ School of Ocean Sciences, Bangor University, Menai Bridge, Isle of Anglesey, LL59 5AB, United Kingdom

jerome.goslin@univ-brest.fr



Les enregistrements récifaux des variations du niveau de la mer

Gilbert CAMOIN ⁽¹⁾,

L'étude chronologique des variations du niveau marin associées à la dernière déglaciation est d'un intérêt majeur pour comprendre la dynamique des calottes glaciaires, leurs effets sur l'isostasie et, par conséquent, le climat de la Terre depuis le Pléistocène final jusqu'à l'Holocène. Au cours de cette période, la remontée du niveau marin, de l'ordre de 130 m, s'est effectuée au taux moyen de 10 mm/an, soit à une vitesse à peine supérieure à celle envisagée pour le prochain siècle à partir des simulations réalisées dans l'hypothèse d'une élévation rapide de la température à l'échelle globale. Toutefois, cette vitesse moyenne de remontée du niveau marin a été dépassée au cours de phases de débâcle glaciaire (Meltwater Pulses), au cours desquelles des taux de plusieurs dizaines de mm par an ont été atteints.

Les récifs coralliens tiennent une place essentielle pour la reconstitution des variations du niveau marin imputables à l'évolution du volume des glaces continentales (glacio-eustatisme) par l'alternances de phases glaciaires et interglaciaires et, à un degré moindre, à la dilatation thermique de l'eau lors des épisodes de réchauffement climatique (thermo-eustatisme). Ils fournissent ainsi des données essentielles sur la dynamique des calottes glaciaires et sur la réponse hydro-isostatique de la croûte terrestre.

Sauvegarde et analyse des données historiques de hauteurs d'eau : exemple de la reconstruction de la série marégraphique de Saint-Nazaire depuis 1821

Yann FERRET⁽¹⁾, Vincent DONATO⁽¹⁾, Nicolas POUVREAU⁽¹⁾

L'étude du changement climatique global et son influence sur les variations du niveau marin selon différentes échelles temporelles, qu'il s'agisse de l'évolution du niveau moyen de la mer ou de l'évolution des événements extrêmes, constitue un enjeu fort pour les sociétés humaines. À ce titre, l'analyse de chroniques historiques pluriséculaires de hauteurs d'eau se révèle être un moyen idéal pour parvenir à dégager des tendances à long terme. Dès le milieu du 19^e siècle, les hauteurs d'eau sont mesurées de manière systématique et continue en de nombreux sites le long des côtes françaises grâce à l'utilisation de marégraphes. Le patrimoine marégraphique français est conséquent, mais un état des lieux des données historiques du niveau marin met en évidence le fait que la majorité de ces mesures sont encore sous forme analogique et ne sont donc pas exploitées. Les longues séries historiques de hauteurs d'eau restent rares : actuellement en France, les seules séries d'une durée supérieure à cent ans disponibles au format numérique sont celles de Brest, Marseille et du Pertuis d'Antioche. Dans ce contexte, un important travail de Data rescue est entrepris au SHOM afin d'inventorier et de sauvegarder les nombreuses données historiques encore au format papier. Une fois les données identifiées, un long mais nécessaire travail de numérisation doit être réalisé pour rendre ces mesures exploitables et valorisables. L'exemple du travail de reconstruction réalisé pour la série marégraphique historique de Saint-Nazaire sera présenté.

Cette étude, financée par le MEDDE, la région des Pays de la Loire et le SHOM, a pour objectif de sauvegarder et valoriser le patrimoine historique que sont les observations du niveau de la mer des décennies passées à Saint-Nazaire. Elle s'inscrit dans le cadre du programme international GLOSS/COI de l'UNESCO. Plusieurs étapes ont été nécessaires pour reconstruire cette série marégraphique: (1) la recherche et l'inventaire de données analogiques en lien avec les mesures de hauteurs d'eau, (2) la numérisation des données, (3) la réduction des données numérisées selon des références verticale et temporelle communes et (4) la validation de la série. Les registres de marée et marégrammes retrouvés, pour l'essentiel au SHOM et au GPM NSN, couvrent une période d'environ 190 ans (de 1821 à aujourd'hui) et ont permis de reconstruire environ 125 ans de mesures continues du niveau marin à Saint-Nazaire. Les données du marégraphe ont été numérisées (500 000 valeurs de hauteurs d'eau horaires, 1 km de documents scannés et numérisés), contrôlées, corrigées et validées.

La constitution d'une chronique cohérente de qualité va permettre d'améliorer la connaissance de l'évolution du niveau marin sur le littoral atlantique français. À une échelle plus large, ces travaux permettront d'appréhender l'évolution des composantes du niveau marin observées et l'éventuelle influence locale de la Loire et/ou des modifications anthropiques, et d'apporter des éléments primordiaux pour l'étude séculaire des niveaux extrêmes.

⁽¹⁾ SHOM, Brest - yann.ferret@shom.fr

Niveau de la mer et processus longue mémoire

**M. BECKER⁽¹⁾, M. KARPYTCHEV⁽¹⁾, M. MARCOS⁽²⁾,
S. JEVREJEVA⁽³⁾ and S. LENNARTZ-SASSINEK⁽⁴⁾**

Ce travail s'appuie sur l'hypothèse, plusieurs fois démontrée dans la littérature, que les variations du niveau de la mer présentent des corrélations toutes à fait particulières, appelées corrélations à long terme. Il faut comprendre par là que le niveau actuel de la mer conserve la « mémoire » de l'ensemble des valeurs qui l'ont précédé, soit toute l'histoire antérieure de ses fluctuations. Cette persistance naturelle est présente, en théorie, à toutes les échelles de temps et peut s'apparenter à des tendances positives ou négatives. L'objectif principal de cette étude est de distinguer les oscillations naturelles, des corrélations à long-terme et des tendances externes présentes dans les enregistrements marégraphiques séculaires du niveau de la mer. Dans le contexte des « processus longue mémoire », les fonctions d'auto-corrélation des enregistrements marégraphiques suivent des lois puissances, dont l'exposant de Hurst est déterminé dans notre étude à partir de la méthode Detrended Fluctuation Analysis. Grâce à l'application de cette méthodologie nous avons pu, pour la première fois, quantifier statistiquement la part de variabilité naturelle et externe des fluctuations du niveau de la mer, mais aussi fournir une nouvelle métrique pour caractériser la performance des modèles de climat à reproduire les fluctuations du niveau de la mer observé.

Apports de l'InSAR pour la mesure des mouvements verticaux du sol en zones côtières urbaines

Gonéri LE COZANNET⁽¹⁾, Guy WÖPPELMANN⁽²⁾,
Daniel RAUCOULES⁽³⁾, Marcello de MICHELE⁽⁴⁾,
Cyril POITEVIN⁽⁵⁾,

Depuis la fin du XIX^e siècle, le niveau marin s'est élevé de 20 cm environ. Cependant, la valeur observée localement peut différer sensiblement de cette tendance globale, d'une part parce que l'élévation du niveau marin n'est pas uniforme, mais aussi en raison des mouvements verticaux du sol qui peuvent affecter la zone côtière. Cette présentation examine le potentiel et les limites de l'interférométrie radar satellitaire (InSAR) pour évaluer ces mouvements du sol. Nous présentons tout d'abord des résultats pour trois exemples de zones côtières urbaines : Dakar (Sénégal), Alexandrie (Egypte) et Manille (Philippines). Par la suite, nous examinons les implications de ces travaux pour l'étude de l'élévation du niveau de la mer passée et l'exposition aux futures submersions marines.

⁽¹⁾ BRGM - g.lecozannet@brgm.fr

⁽²⁾ Université de La Rochelle

⁽³⁾ BRGM

⁽⁴⁾ BRGM

⁽⁵⁾ Université de La Rochelle

L'évolution des événements extrêmes du niveau de la mer

Marta MARCOS⁽¹⁾, Francisco M. CALAFAT, Ángel BERIHUETE,
Sönke DANGENDORF

Decadal to multi-decadal variations in sea level extremes unrelated to mean sea level changes have been investigated using long tide gauge records distributed worldwide. A state space approach has been applied that provides robust solutions and uncertainties of the time evolving characteristics of extremes, allowing for data gaps and uneven sampling, both common features of historical sea level time series. Two different models have been formulated for the intensity and for the occurrence of extreme sea level events and have been applied independently to each tide gauge record. Our results reveal two key findings: first, the intensity and the frequency of occurrence of extreme sea levels unrelated to mean sea level vary coherently on decadal scales in most of the sites examined (63 out of 77) and, second, extreme sea level changes are regionally consistent, thus pointing towards a common large scale forcing. This variability of extremes associated with climate drivers should be considered in the framework of climate change studies.







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



Les soutiens

