

JOURNÉES REFMAR

Colloque international francophone | hybride

ABSTRACTS



*Observation du niveau marin au profit
des politiques publiques et de la recherche*

#JR2026



Jour 1 MARDI 22 SEPTEMBRE

Impacts du changement climatique et de la variabilité interne sur l'élévation du niveau marin et les événements extrêmes

Tendances et variabilité multidécennale des composantes des niveaux marins extrêmes : niveau moyen, marée et surcotes <i>Par Julie Cheynel, Lucia Pineau-Guillou, Pascal Lazure</i>	6
Variabilité interne et tendances du niveau de la mer le long des côtes de l'Atlantique Nord de 1900 à 2014 <i>Par Blandine Jacob, William Llovel, Lucia Pineau-Guillou, Virginie Thierry</i>	7
Collectivités littorales et changement climatique : préserver des littoraux vivants et attractifs <i>Par Alain Blanchard</i>	8
L'élévation du niveau de la mer au 21^e siècle selon la TRACC et ses conséquences sur les risques côtiers <i>Par Rémi Thiéblemont, Gonéri Le Cozannet, Tanguy Jonville</i>	9
Projections régionalisées du niveau de la mer relatif en Méditerranée dans un scénario à fortes émissions <i>Par Robin Waldman, Ivan Parras-Berrocal, Nicolas Gonzalez, Samuel Somot</i>	10
Le Système d'Observation SONEL <i>Par Laurent Testut, Guy Wöppelmann, Médéric Gravelle, Mikael Guichard, Sarah Baizeau, François Bouchet, Thomas Donal, Tanguy Garmond, Bruno Garayt, Marie Dauguet, Ronan Autret, Nicolas Pouvreau, Inge Van Den Beld, Philippe Téchiné</i>	11
Vers une stabilité de l'ordre de 0,1 mm/an sur plusieurs décennies pour la mesure du niveau de la mer à l'aide de marégraphes associés à des instruments GNSS ? <i>Par Pascal Bonnefond, Olivier Laurain, Pierre Exertier, Michel Calzas, Christine Drezen, Lionel Fichen, Antoine Guillot, Thierry Guinle, Nicolas Picot</i>	12
La Topographie dynamique Moyenne de l'océan (Mean Dynamic Topographie, MDT) CNES CLS2022 : définition, méthode de calcul et perspectives d'amélioration <i>Par Solène Jousset, Juliette Gamot, Éric Greiner</i>	13
Unifier les références verticales terre-mer par nivellement hydrodynamique pour exprimer les projections climatiques dans les références altimétriques légales <i>Par Jonathan Chenal</i>	14
Phénoménologie et propagation des surcotes en Méditerranée nord-occidentale : apport des données long-terme du réseau HTM-Net <i>Par Élodie Laffitte, Vincent Rey, Apolline Godet, Jean-Luc Fuda, Didier Mallarino Tathy Missamou</i>	15
Apport de la mission SWOT au suivi spatio-temporel des niveaux d'eau côtiers <i>Par Carlos Lopez Solano, Saiful Islam, Imen Turki, Pascal Matte, Komlan Kpogo-Nuwoklo</i>	16
SURVEY : modélisation hydrodynamique et aide à la décision face aux submersions marines dans les Pertuis Charentais <i>Par Jean-François Breilh, Clément Poirier, Xavier Bertin, Clara Simon, Damien Chevaillier</i>	17
Apport des observations spatiales pour le suivi et la gestion des risques côtiers <i>Par François Soulat, Cyril Germineaud, Pascale Danto, Vincent Lonjou</i>	18
Les variations actuelles du niveau de la mer ; observations, causes et impacts <i>Par Anny Cazenave</i>	19

Jour 2 **MERCREDI 23 SEPTEMBRE**

Données marégraphiques au profit de la connaissance et de l'action publique

- Aléas submersion en Méditerranée occidentale : contribution des composantes Ssa et Sa de la marée à l'échelle du bassin et des seiches à l'échelle des baies** **21**
Par Vincent Rey, Elodie Laffitte, Tathy Missamou, Didier Mallarino
- Les activités de « Data Archaeology » au Shom (France)** **22**
Par Inge Van Den Beld et l'équipe de Data Archaeology
- Présentation de la feuille de route du Groupe de Travail « Tempêtes et Submersions Historiques »** **23**
Par Marion Chapalain et les membres du GT-TSH
- Utilisation des valeurs Extrêmes statistiques du Niveau d'eau (NIVEXT)** **24**
Par Gaël André, Xavier Kergadallan, Julie Cheynel
- Les données marégraphiques au cœur de la stratégie de prévention des inondations de Bordeaux Métropole** **25**
Par Yvon Mensencal
- Bilan HOMONIM3 : avancées et apports pour la prévision opérationnelle des submersions marines** **26**
Par Audrey Pasquet, Denis Paradis
- L'alerte précoce aux tsunamis : exemples de systèmes en place et leurs évolutions** **27**
Par Hélène Hébert, Marine Ménager, Pierre Andraud, Audrey Gailler, Philippe Heinrich, Aurélien Dupont, Pascal Roudil, Anthony Jamelot

Jour 3 JEUDI 24 SEPTEMBRE

Mesurer le niveau de la mer : les éléments clef d'un observatoire marégraphique

Mesure du niveau marin par réflectométrie interférométrique GNSS - évaluation des méthodes fréquentielles 29

Par Odilon J. Houndegnonto, Pierre Bosser, Gaël André, Clémence Chupin, Ronan Autret

Estimation du niveau de la mer par réflectométrie interférométrique GNSS avec filtre de Kalman 30

Par Alvaro Santamaría-Gómez, Aurélien Pira, Guy Wöppelmann

Mesurer le niveau de la mer : méthode de la réflectométrie GNSS par mesure de phase de porteuse 31

Par Nolan Varais, Jérôme Verdun, José Cali, Laurent Lestarquit

Un observatoire des écosystèmes estuariens de Guyane 32

Par Charlène Steinmetz, Giovanni Frati, Tanguy Maury, Ludovic Granjon, Guillaume Brunier, Antoine Gardel

Niveaux d'eau et submersion en contexte récifal corallien : apports d'un observatoire pluridisciplinaire à La Réunion 33

Par Emmanuel Cordier, France Floc'h, Sébastien Jaquemet, Yoan Benoît, Sophie Bureau, Manon Gibaud, Mathieu David, Pierre Stamenoff, Ronan Mira

Suivi de la stabilité verticale des observatoires de marée 34

Par Thomas Donal

Déploiement de capteurs de pression permanents pour mieux comprendre la dynamique littorale dans le cadre du Service National d'Observation DYNALIT 35

Par Stéphane Bertin, Xavier Bertin

La mesure des hauteurs et débits des cours d'eau : organisation et pratiques métrologiques de l'état 36

Par Stéphanie Pitsch, Yan Lacaze, Romain Gallen, Laurent Dieval

Filtrage des signaux des marégraphes en estuaire 37

Par Laurent Dieval

Bilan de l'accompagnement par le Shom au choix et à l'installation de stations marégraphiques 38

Par Antoine Lechevalier, Eloi Droniou

Le Réseau d'Observation du Niveau de la Mer (RONIM) 39

Par Marie Dauguet, Ronan Autret

MAR.
22
SEPTEMBRE

JOURNÉE 1

IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DE LA VARIABILITÉ INTERNE SUR L'ÉLEVATION DU NIVEAU MARIN ET LES ÉVÉNEMENTS EXTRÊMES

Cette première journée sera consacrée aux impacts du changement climatique et de la variabilité interne du climat sur les variations passées et futures du niveau marin ainsi que sur la fréquence des événements extrêmes, enjeux majeurs pour les territoires littoraux. Elle réunira utilisateurs, producteurs de données et décideurs afin de mutualiser la connaissance, d'optimiser les chaînes d'observation et de présenter des indicateurs nécessaires à l'adaptation.

La compréhension du niveau moyen de la mer et de ses dynamiques régionales repose sur des observations géodésiques de haute précision, combinant marégraphie, GNSS, altimétrie satellitaire et modélisation numérique afin de distinguer les contributions océaniques et terrestres. Cette complémentarité des approches permettra d'aborder successivement les variations passées du niveau de la mer et ses projections, les observations géodésiques et niveau moyen de la mer, puis les avancées de l'observation intégrée multi-échelles des niveaux marins extrêmes et des risques côtiers, de l'in situ à l'altimétrie spatiale.

Une attention particulière sera portée à la caractérisation des risques côtiers et à l'anticipation de leurs évolutions futures.

Animateurs :

Jonathan CHENAL (IGN)

Angélique MELET (Mercator Ocean Int.)

Imen TURKI (M2C – Université de Rouen)

Tendances et variabilité multidécennale des composantes des niveaux marins extrêmes : niveau moyen, marée et surcotes

Julie Cheynel ¹,
Lucia Pineau-Guillou ²,
Pascal Lazure ³

Les niveaux marins extrêmes augmentent, accroissant les risques de submersion en zone côtière. La hausse du niveau moyen global de la mer est la principale cause de cette augmentation, mais tout changement dans la marée ou les surcotes peut également affecter les niveaux extrêmes côtiers. Nous avons comparé les tendances du niveau moyen, de la marée et des surcotes hivernales le long des côtes de l'Atlantique Nord, à partir de 37 longues séries marégraphiques (> 80 ans) issues de la base de données GESLA-4. Nous avons caractérisé les évolutions de la marée par une analyse harmonique, et celles des surcotes par une analyse statistique basée sur la théorie des valeurs extrêmes. Les tendances à long terme des niveaux marins extrêmes sont dominées par celles du niveau moyen, généralement comprises entre 1 et 4 mm/an, tandis que les tendances des surcotes extrêmes sont généralement inférieures à ± 1.5 mm/an, et les tendances de marée généralement inférieures à ± 0.5 mm/an. Nous avons également quantifié la variabilité multidécennale pour les trois composantes des niveaux marins extrêmes. Tandis que la variabilité multidécennale du niveau moyen est relativement faible, celle des surcotes est beaucoup plus importante (généralement supérieure à 4 mm/an), et peut amplifier fortement les tendances calculées. En conséquence, les tendances sur les surcotes extrêmes calculées sur seulement quelques décennies sont essentiellement représentatives de la variabilité multidécennale des surcotes. Ces résultats illustrent la nécessité d'utiliser de longues séries de niveau de la mer pour étudier les changements à long-terme des surcotes et des niveaux marins extrêmes.

MOTS CLÉS

- Niveaux marins extrêmes,
- Marée, surcote,
- Données marégraphiques,
- Tendances,
- Variabilité multidécennale,
- Atlantique Nord.

¹ Shom, Brest, France

² Créocéan, Brest, France

³ Ifremer/LOPS, Plouzané, France

Variabilité interne et tendances du niveau de la mer le long des côtes de l'Atlantique Nord de 1900 à 2014

Blandine Jacob¹,
William Llovel²,
Lucia Pineau-Guillou³,
Virginie Thierry⁴

Le niveau moyen mondial de la mer est en hausse, mais on observe d'importants écarts régionaux et locaux par rapport à la tendance moyenne mondiale. Dans cette étude, nous comparons les tendances observées du niveau de la mer au XX^e siècle à celles simulées à partir de sept grands ensembles de modèles climatiques individuels, à 50 sites de marégraphes situés dans l'Atlantique Nord. Le but est d'évaluer l'influence de la variabilité interne du niveau de la mer stérodynamique sur les tendances du niveau de la mer, à la côte. Nous avons constaté une concordance générale, entre niveau de la mer observé et simulé, lorsque les incertitudes du niveau de la mer stérodynamique sont prises en compte, principalement parce que ces incertitudes sont importantes. Nous distinguons et quantifions ensuite la variabilité interne (variance intra-modèles) et la variabilité liée aux différences des modèles (variance inter-modèles) dans les écarts des tendances historiques simulées du niveau de la mer. La variance des tendances historiques du niveau de la mer est dominée par la variabilité interne sur trois périodes de durées différentes (> 71, 56 et 21 ans), plutôt que par les différences entre les modèles. Cependant, nous montrons que chaque modèle a une représentation distincte de la variabilité interne et de la réponse forcée par des facteurs externes. En particulier, nous constatons que le modèle CNRM-CM6-1 présente un signal de variabilité interne plus important que tout autre modèle le long des côtes nord-américaines. Ces signaux distincts de variabilité interne suggèrent qu'il est essentiel d'utiliser plusieurs grands ensembles de modèles individuels lorsque cela est possible pour évaluer la robustesse de certains résultats, par exemple lors de l'étude des rapports signal/bruit ou du moment d'émergence des tendances forcées par des facteurs externes par rapport à la variabilité interne.

MOTS CLÉS

- Niveau de la mer,
- Tendances, marégraphes,
- Variabilité interne,
- Atlantique Nord,
- Modèles climatiques,
- Approche ensembliste.

¹ Univ Brest, CNRS, Ifremer, IRD, Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale (LOPS), IUEM, F29280, Plouzané, France

² Univ Brest, CNRS, Ifremer, IRD, Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale (LOPS), IUEM, F29280, Plouzané, France

³ Créocéan, Brest, France

⁴ Univ Brest, CNRS, Ifremer, IRD, Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale (LOPS), IUEM, F29280, Plouzané, France

Collectivités littorales et changement climatique : préserver des littoraux vivants et attractifs

Alain BLANCHARD ¹

¹ Association Nationale des Elus des Littoraux

alain.blanchard@anel.asso.fr

L'élévation du niveau de la mer au 21^e siècle selon la TRACC et ses conséquences sur les risques côtiers

Rémi Thiéblemont ¹,
Gonéri Le Cozannet ¹,
Tanguy Jonville ¹

MOTS CLÉS

- Niveau de la mer,
- Élévation,
- Changement climatique,
- TRACC,
- Risques côtiers,
- Services climatiques.

¹ BRGM

r.thieblemont@brgm.fr

Dans le cadre de son troisième plan national d'adaptation (PNACC), la France développe un ensemble cohérent de scénarios climatiques fondés sur des niveaux de réchauffement global. La trajectoire de référence (TRACC) considère un scénario conduisant à une augmentation de la température moyenne mondiale de 3° C par rapport à la période préindustrielle, ce qui est cohérent avec les politiques climatiques actuelles à l'horizon 2100.

Nous présentons ici la méthode conçue pour construire les scénarios régionalisés d'élévation du niveau de la mer alignés sur des trajectoires de réchauffement global jusqu'en 2120. Cette méthode repose essentiellement sur (i) l'agrégation des différentes composantes à l'élévation du niveau (glaciers, calottes polaires, expansion thermique, etc) dont les projections individuelles sont sélectionnées en cohérence avec les trajectoires de réchauffements global, (ii) leur régionalisation et (iii) une attention particulière à la cohérence du traitement des incertitudes avant et après 2100. En outre, nous avons ajouté des simulations prenant en compte un éventuel effondrement des calottes glaciaires pour des niveaux de réchauffement global de 3 °C et 5 °C en 2100.

Nos résultats indiquent une élévation du niveau marin de l'ordre de 25 cm (médiane) à 35 cm (83^e percentile) en 2050, 65 cm (médiane) à 85 cm (83^e percentile) en 2100 et 85 cm (médiane) à 110 cm (83^e percentile) en 2120 (par rapport à la période 1995-2014) avec des variations régionales qui peuvent dépasser plusieurs dizaines de cm. Nous discuterons de cadres potentiels d'application de ces scénarios, de leur mise en référencement dans le système altimétrique légal, ainsi que de leur impact sur la vulnérabilité côtière en Hexagone et dans les territoires ultra-marins et du développement de services climatiques côtiers.

Projections régionalisées du niveau de la mer relatif en Méditerranée dans un scénario à fortes émissions

Robin Waldman¹,
Ivan Parras-Berrocal¹,
Nicolas Gonzalez²,
Samuel Somot¹

Le littoral méditerranéen est particulièrement vulnérable à l'élévation moyenne du niveau de la mer en raison de sa densité de population et de l'amplitude limitée des extrêmes du niveau de la mer en climat historique. Cette étude produit une actualisation des projections du niveau de la mer relatif moyen pour la Méditerranée dans un scénario à fortes émissions. Pour cela, on combine les projections du niveau de la mer stérique et dynamique produites par l'ensemble climatique régional Med-CORDEX, les projections probabilistes du bilan de masse continentale ainsi que des projections régionales du mouvement vertical du terrain. Le signal stérique et dynamique explique environ la moitié des tendances moyennes du niveau de la mer relatif. Il inclut l'expansion thermique globale mais aussi un signal dynamique provenant de l'Atlantique, lié à la circulation méridienne de retournement (AMOC). Les modèles climatiques régionaux augmentent la variabilité spatiale mais sans qu'un signal clair de grande échelle n'émerge. Le signal à la côte est relativement homogène, ce qui est cohérent avec un ajustement stérique à grande échelle du bassin. Les mouvements verticaux du terrain dominant quant à eux la variabilité spatiale à la côte. Le bilan de masse continental explique environ la moitié des tendances futures et la calotte Antarctique en domine les incertitudes. Il montre un gradient de grande échelle nord-sud, avec une amplitude plus faible au nord en raison des effets de gravité, rotation et déformation des glaciers continentaux de l'hémisphère nord. Les tendances totales du niveau de la mer relatif sont cohérentes entre le dernier rapport du GIEC, les modèles de climat globaux, et les modèles régionaux, ces derniers projetant une augmentation moyenne de 69cm (60 – 93 cm, 17^e - 83^e percentiles) à horizon 2100 comparé à la période historique. Localement, les tendances varient de -39 cm à +170 cm à la côte, la forte dispersion étant largement dominée par les mouvements verticaux du terrain.

¹ CNRM, CNRS - Météo-France, Toulouse, France

² CMCC, Bologne, Italie

Le Système d'Observation SONEL

Laurent Testut¹,
Guy Wöppelmann,
Médéric Gravelle,
Mikael Guichard,
Sarah Baizeau,
François Bouchet
Thomas Donal²,
Tanguy Garmond²,
Bruno Garayt²,
Marie Dauguet³,
Ronan Autret³,
Nicolas Pouvreau³,
Inge van den Beld³,
Philippe Téchiné⁴

MOTS CLÉS

- Niveau marin, mouvement verticaux du sol,
- Marégraphie,
- GNSS.

¹ LIENSs

² IGN

³ Shom

⁴ LEGOS

SONEL vise à fournir des données du niveau de la mer de grande qualité métrologique obtenues à partir de marégraphes (niveaux relatifs de la mer) et de techniques modernes de géodésie (déplacements verticaux et niveaux absolus de la mer) pour l'étude des tendances à long terme du niveau de la mer ou la calibration d'altimètres radar embarqués sur satellite, par exemple.

Dans cette présentation nous ferons le tour du système d'observation SONEL, de la manière dont il s'insère dans le système national des Infrastructures de Recherches (IR ILICO, IR Epos France), des données qu'il distribue, des analyses qu'il effectue et des évolutions qu'il propose dans les années à venir. Nous ferons aussi une présentation de la nouvelle version du plan d'implémentation du programme mondial d'observation du niveau de la mer GLOSS pour lequel SONEL joue le rôle de centre de données GNSS aux marégraphes. Nous évoquerons aussi les trois groupes de travail nouvellement constitués par le Groupe d'Experts de GLOSS qui concerne (i) l'archéologie de données de niveau marin, (ii) les performances des instruments et les nouvelles technologies et (iii) le contrôle qualité, l'analyse des données et leur gestion.

Vers une stabilité de l'ordre de 0,1 mm/an sur plusieurs décennies pour la mesure du niveau de la mer à l'aide de marégraphes associés à des instruments GNSS ?

Pascal Bonnefond¹,
Olivier Laurain²,
Pierre Exertier³,
Michel Calzas⁴,
Christine Drezene⁵,
Lionel Fichene⁵,
Antoine Guillote⁵,
Thierry Guinle⁶,
Nicolas Picot⁶

MOTS CLÉS

- Étalonnage et validation,
- GNSS,
- Marégraphes,
- Altimétrie par satellite,
- Niveau de l'eau,
- Élévation du niveau de la mer.

¹ LTE, Observatoire de Paris, France

² Université Côte d'Azur, Observatoire de la Côte d'Azur, France

³ Géosciences Environnement Toulouse (GET), Université de Toulouse, France

⁴ CNRS-DT INSU, La Seyne sur mer, France

⁵ CNRS-DT INSU, Bâtiment IPEV, Plouzané, France

⁶ CNES, Toulouse, France

pascal.Bonnefond@obspm.fr

Des mesures précises et stables du niveau de la mer sont essentielles pour comprendre les tendances climatiques à long terme. Cette étude examine la stabilité des mesures du niveau de la mer à l'aide de marégraphes et d'instruments GNSS sur le site d'étalonnage de Corse. L'étalonnage et la validation des missions d'altimétrie par satellite exigent une incertitude de $\pm 0,3$ mm/an à l'échelle mondiale et de ± 1 mm/an à l'échelle régionale. L'étude évalue également le mouvement vertical du sol (VLM) du site GNSS de référence (RG00) et son impact sur les tendances à long terme du niveau de la mer. Elle évalue la fiabilité des mesures du niveau de la mer fournies par des méthodes avancées de traitement GNSS, notamment le positionnement différentiel et le positionnement ponctuel précis (PPP). L'analyse démontre que la stabilité des marégraphes, confirmée par des mesures basées sur le GNSS, est supérieure à 0,1 mm/an. En outre, l'étude a examiné la tendance à long terme du niveau de la mer sur le site de Senetosa, révélant une augmentation moyenne de +4,4 mm/an sur une période de 26 ans (1998-2024), avec une accélération possible de +0,18 mm/an². Ce taux dépasse les estimations mondiales, potentiellement en raison d'effets océanographiques régionaux. Les résultats soulignent la nécessité d'une surveillance de haute précision et l'importance des systèmes basés sur le GNSS pour valider les mesures des marégraphes afin d'évaluer avec précision le niveau de la mer.

La Topographie dynamique Moyenne de l'océan (Mean Dynamic Topographie, MDT) CNES CLS2022 : définition, méthode de calcul et perspectives d'amélioration

Solène Jousset¹,
Juliette Gamot¹,
Éric Greiner¹

MOTS CLÉS

- Topographie Dynamique Moyenne (MDT),
- Altimétrie, Courants géostrophiques.

¹ CLS, Toulouse, France

La mesure altimétrique satellitaire fournit les anomalies de hauteur de mer (SLA), indispensables à l'étude de la variabilité océanique. Toutefois, l'accès au signal absolu nécessite une surface de référence : la Topographie Dynamique Moyenne (MDT). En combinant SLA et MDT ($ADT = SLA + MDT$), il devient possible, via l'approximation géostrophique, d'estimer les courants de surface. La MDT constitue ainsi un lien essentiel entre observation altimétrique et dynamique océanique.

Par définition, la MDT est la différence entre la Surface Moyenne Océanique (SMO) et le géoïde ($MDT = SMO - N$). Les modèles de géoïde issus des missions GRACE et GOCE décrivent correctement les grandes et moyennes échelles (100–250 km), mais restent limités aux petites échelles, pourtant cruciales. Pour exploiter pleinement les SLA, la MDT doit être connue à une précision centimétrique jusqu'à 5–10 km le long des traces et ~100 km pour les produits grillés, correspondant aux dynamiques dominantes proches du premier rayon de Rossby. Deux approches existent : l'amélioration du géoïde (approche géodésique) ou l'intégration de données in-situ (approche océanographique), privilégiée par les MDT CNES-CLS.

La MDT CNES CLS2022 s'inscrit dans cette démarche et repose sur une méthodologie en trois étapes. La première étape consiste à calculer une MDT géodésique initiale obtenue comme la différence filtrée entre SMO et géoïde, avec une résolution effective d'environ 100–125 km. La deuxième étape vise à produire des estimations synthétiques de la MDT et des vitesses géostrophiques moyennes à partir de données in-situ (profils T/S, vitesses). Enfin, la troisième étape repose sur une analyse objective multivariée, permettant de combiner de façon optimale la MDT géodésique et les observations synthétiques, en tenant compte des structures de variance et des échelles de corrélation spatiale.

La MDT CNES CLS2022 offre une meilleure représentation des structures océaniques, surtout en Arctique. Néanmoins, des pistes d'amélioration subsistent. Elles concernent notamment l'extension de la couverture des données in situ, l'intégration de nouvelles données (radar HF, SAR Doppler), utilisation des nouveaux produits SMO (avec données SWOT) et géoïde, ainsi que des raffinements méthodologiques.

Unifier les références verticales terre-mer par nivellement hydrodynamique pour exprimer les projections climatiques dans les références altimétriques légales

Jonathan Chenal ¹

MOTS CLÉS

- Niveau de la mer
- Altitude.

¹IGN/SGM

jonathan.chenal@ign.fr

L'évaluation des risques littoraux notamment associés à l'élévation de l'élévation du niveau moyen de la mer suppose de disposer de données marines (niveau de la mer) et terrestres (information géographique) verticalement cohérentes, c'est-à-dire exprimées dans une même référence. En France, les références altimétriques sont propres à chaque territoire, par exemple l'IGN69 en France continentale, ou l'IGN78 en Corse. Le nivellement hydrodynamique propose un cadre méthodologique appuyé sur la combinaison de la topographie dynamique de l'océan et des observations marégraphiques pour estimer des paramètres de transformation du domaine marin au domaine terrestre, en tenant compte des potentiels défauts d'horizontalité de celles-ci (de l'ordre de 25 cm entre Marseille et Dunkerque pour l'IGN69). En reconstruisant la surface moyenne de la mer sur la période de référence du GIEC (1995-2014) à partir des produits de l'altimétrie spatiale, il est donc possible de transformer les projections climatiques de cette référence vers les références altimétriques légales par territoire. Les écarts aux projections natives du GIEC témoignent de la conjugaison de plusieurs effets : la différence de périodes de référence, la variabilité spatiale de topographie dynamique, et la pente éventuelle des systèmes altimétriques. Ainsi, dans le nord de la France, les projections d'élévation du niveau de la mer mises en référence dans le système IGN69 se trouvent décalées de plusieurs décimètres par rapport à celles publiées par le GIEC.

Phénoménologie et propagation des surcotes en Méditerranée nord-occidentale : apport des données long-terme du réseau HTM-Net

Élodie Laffitte¹,
Vincent Rey¹,
Apolline Godet¹,
Jean-Luc Fuda¹,
Didier Mallarino¹,
Tathy Missamou¹

MOTS CLÉS

- Tempête,
- Surcote,
- Littoral.

¹ Université de Toulon,
Aix Marseille Université,
CNRS/INSU, IRD,
Institut Méditerranéen
d'Océanologie (MIO),
UM 110, 83041 Toulon
Cedex 09, France

carlos.lopez-solano4@univ-roen.fr

Les surcotes observées en Méditerranée nord-occidentale résultent de la superposition de plusieurs mécanismes physiques, incluant l'effet barométrique inverse, le forçage par le vent, la contribution des vagues et des variations basses fréquences du niveau marin. Dans ce bassin semi-fermé, ces processus peuvent interagir avec des modes de résonance à différentes échelles, donnant lieu à des oscillations de type seiche susceptibles de moduler significativement la réponse côtière. La distinction entre contributions propagatives (ondes côtières) et résonantes (seiches) constitue ainsi un enjeu majeur pour l'interprétation des signaux de surcote et leur impact sur les zones littorales.

Cette étude s'appuie sur des observations issues du réseau HTM-Net (Hydrodynamique et Transport de Matière en suspension), qui fournit depuis 2013 des séries temporelles continues et à haute résolution du niveau de la mer et de la température sur le littoral provençal. Ce réseau, constitué de capteurs installés en zone côtière et portuaire, permet de documenter finement la variabilité du niveau marin à des échelles temporelles allant de l'heure à plusieurs années. Il offre ainsi une opportunité unique pour analyser les événements de surcote dans un contexte méditerranéen caractérisé par un régime microtidal et une forte variabilité météorologique.

Un pipeline de traitement est développé sous MATLAB afin de décomposer le signal observé en ses principales composantes physiques. La marée astronomique est estimée et retirée, l'effet barométrique inverse isostatique est calculé à partir des données locales de pression atmosphérique. Une contribution liée au vent est estimée à l'aide d'une formulation simplifiée, et une composante basse fréquence est extraite par filtrage spectral. Ces différentes contributions permettent de définir un résidu corrigé, destiné à isoler la dynamique de surcote non expliquée par les forçages locaux de premier ordre.

L'analyse se concentre ensuite sur la structure spatio-temporelle de ce résidu. Les signaux sont comparés entre stations afin d'identifier des cohérences temporelles et des décalages caractéristiques. Des corrélations croisées sont utilisées pour estimer des temps de propagation entre stations, tandis que des diagrammes de type Hovmöller permettent de visualiser l'évolution des anomalies de niveau de la mer le long du littoral. Une attention particulière est portée à l'analyse fréquentielle du signal, afin de distinguer les échelles de temps caractéristiques des différents processus et de mettre en évidence des signatures compatibles avec des modes de résonance côtiers.

Les premières analyses mettent en évidence des structures de propagation cohérentes le long de certains segments du littoral, suggérant l'existence de dynamiques organisées à l'échelle régionale. Par ailleurs, la présence de composantes oscillatoires persistantes dans certaines configurations indique un rôle significatif des phénomènes de résonance, susceptibles de renforcer localement les niveaux d'eau.

Apport de la mission SWOT au suivi spatio-temporel des niveaux d'eau côtiers

Carlos Lopez Solano ¹,
Saiful Islam ¹,
Imen Turki ¹,
Pascal Matte ²,
Komlan Kpogo-Nuwoklo ³

MOTS CLÉS

- SWOT,
- Hauteur de surface de la mer,
- Suivi spatio-temporel,
- Décomposition modale variationnelle,
- événements extrêmes,
- Aléas côtiers,
- Jumeaux numériques.

¹ CNRM, Univ Rouen
Normandie, Université
Caen Normandie, CNRS,
Normandie Univ, M2C
UMR 6143, F-76000 Rouen,
France

² CMCC, Meteorological
Research Division,
Environment and Climate
Change Canada, Quebec
City, QC, Canada

³ Meteo-France, DIROP-
CNRM, 42 avenue Gaspard
Coriolis 31057 Toulouse,
France

carlos.lopez-solano4@univ-rouen.fr

Les variations du niveau d'eau en zone côtière résultent de l'interaction de multiples processus agissant à différentes échelles spatiales et temporelles, notamment les marées, les surcotes de tempête, les forçages atmosphériques, les apports fluviaux et l'élévation du niveau moyen de la mer. Le suivi de ces dynamiques demeure un défi majeur, les systèmes d'observation conventionnels reposant principalement sur des mesures ponctuelles issues des marégraphes, ce qui limite la caractérisation de la variabilité spatiale et le suivi des événements extrêmes. Le lancement récent de la mission Surface Water and Ocean Topography (SWOT) ouvre de nouvelles perspectives grâce à des observations bidimensionnelles inédites de la hauteur de surface de la mer (SSH).

Cette étude présente un cadre méthodologique basé sur SWOT pour le suivi spatio-temporel de la dynamique des niveaux d'eau côtiers. Dans un premier temps, la capacité de SWOT à restituer la SSH en zone côtière est évaluée à partir de comparaisons avec les observations de 16 marégraphes répartis le long des côtes de la Manche. L'analyse, réalisée dans un large éventail de conditions hydrodynamiques, y compris lors d'événements de tempête énergétiques, met en évidence une forte cohérence entre les estimations SWOT et les observations in situ, avec des coefficients de corrélation atteignant 0,95 et des erreurs quadratiques moyennes proches de 0,9 m.

Sur la base de cette validation, une décomposition modale variationnelle (Variational Mode Decomposition, VMD) est appliquée afin d'identifier les principales composantes temporelles de la variabilité du niveau d'eau associées aux différents processus physiques et échelles de temps. Ces composantes sont ensuite intégrées dans un modèle de régression (Lag Regression) permettant de suivre l'évolution temporelle des niveaux d'eau entre deux passages successifs de SWOT, tout en préservant l'information spatiale apportée par les observations satellitaires.

Le cadre proposé combine ainsi la couverture spatiale inédite de SWOT et la continuité temporelle des observations marégraphiques afin de produire une représentation spatialement distribuée et temporellement continue de la variabilité des niveaux d'eau côtiers. Les résultats soulignent le potentiel de SWOT pour compléter les réseaux d'observation côtiers existants et soutenir des applications liées au suivi du niveau de la mer, à la caractérisation des événements extrêmes, à l'évaluation des aléas côtiers et au développement de jumeaux numériques côtiers.

SURVEY : modélisation hydrodynamique et aide à la décision face aux submersions marines dans les Pertuis Charentais

**Jean-François Breilh ¹,
Clément Poirier ¹,
Xavier Bertin ²,
Clara Simon ¹,
Damien Chevaillier ¹**

MOTS CLÉS

- Surcote,
- Submersion marine,
- Modélisation hydrodynamique,
- Prévision opérationnelle,
- Marégraphie,
- Aide à la décision.

¹ UNIMA, 28 rue Jacques de Vaucanson, 17180 Périgny, France

² Littoral ENVironnement et Sociétés (LIENSs), UMR 7266 CNRS – La Rochelle Université, Bâtiment ILE, 2, rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle, France

Les littoraux des Pertuis Charentais sont particulièrement exposés aux risques de submersion marine en raison de la présence de vastes zones basses rétro-littorales aux enjeux humains et économiques marqués. Afin d'améliorer l'anticipation des niveaux marins et l'aide à la décision en situation de crise, l'UNIMA développe et exploite le système SURVEY, dédié à la prévision opérationnelle des surcotes et des submersions marines sur le littoral charentais et le sud Vendée.

Le système repose sur une chaîne de modélisation numérique à descente d'échelle progressive, dont la résolution atteint l'ordre du mètre dans les Pertuis Charentais, permettant une représentation fine du continuum océan-estuaires-fonds de baie-zones rétro-littorales et une prise en compte détaillée des éléments structurants du territoire tels que digues, ouvrages hydrauliques et réseaux de canaux.

SURVEY fournit, via une application web, des informations directement exploitables par les gestionnaires du littoral et les services opérationnels : des résultats de modélisation traduits en indicateurs concrets permettant d'évaluer les conséquences d'un événement et d'orienter les décisions en situation de crise. La fiabilité de ces prévisions repose notamment sur la disponibilité d'observations hydrodynamiques de qualité, en particulier des mesures de niveau marin et d'état de mer, utilisées à la fois pour le suivi opérationnel et l'amélioration continue des modèles.

En temps réel, les données marégraphiques permettent d'évaluer la qualité des prévisions et d'appuyer le suivi opérationnel lors des événements météo-marins. En temps différé, elles servent à analyser les écarts entre observations et simulations, afin d'améliorer la représentation des processus physiques, comme les contraintes de cisaillement en surface et au fond. Ces besoins sont particulièrement marqués dans les zones estuariennes et les fonds de baie : des environnements où l'hydrodynamique est complexe et pour lesquels le renforcement du réseau d'observation et la qualification altimétrique des instruments constituent un enjeu clé pour la performance des systèmes de prévision opérationnelle.

Apport des observations spatiales pour le suivi et la gestion des risques côtiers

François Soulat ¹,
Cyril Germineaud ¹,
Pascale Danto ¹,
Vincent Lonjou ¹

¹ CNES, Toulouse, France

francois.soulat@cnes.fr

Face à l'accélération de la pression anthropique, la surveillance environnementale et la planification des activités humaines sur le littoral sont devenues des défis majeurs de l'action de l'Etat et de ses actions décentralisées. Les enjeux écologiques et socio-économiques inhérents sont encadrés par la Stratégie Nationale Mer et Littoral et par un ensemble de réglementations, dont la DCSMM, DCE, Loi Littoral, SRADDET, Loi Climat et Résilience, etc. L'usage des solutions spatiales offre un levier unique pour renforcer la surveillance des nombreuses côtes métropolitaines et d'Outre-Mer.

Nous présenterons la démonstration de services France 2030 dédiés à la connaissance et au suivi de la bande côtière. Ces services permettent d'accompagner les nombreux organismes d'Etat dans l'aménagement des territoires et répondent aux besoins des collectivités territoriales : régions, métropoles, villes et autorités portuaires.

Le portfolio de données opérationnelles de cette démonstration illustre en particulier leur capacité de fournir des informations utiles en entrée des outils de gestion de la submersion côtière, notamment les modèles hydrodynamiques. Nous montrerons que les observations spatiales optiques et radar peuvent être utilisées pour des applications de vigilance multi-échelle ainsi que pour l'évaluation long-terme de la vulnérabilité du littoral à partir de projections temporelles du niveau marin.

La production opérationnelle des données d'observation de la morphologie dynamique côtière repose sur le continuum d'informations de bathymétrie, de topographie de l'estran, du trait de côte et du MNT. Nous discuterons également de l'intérêt d'informations environnementales complémentaires permettant de contextualiser spatialement les zones d'études : indicateurs du trait de côte selon les faciès littoraux, cartographie des habitats, pied de dunes, secteurs artificialisés, etc. La construction d'indicateurs de submersion et d'érosion côtière sera également illustrée.

Les variations actuelles du niveau de la mer ; observations, causes et impacts

Anny Cazenave ¹

Le niveau de la mer s'élève actuellement à un rythme accéléré. C'est ce que montrent les satellites altimétriques qui surveillent en routine le niveau de la mer et son évolution depuis plus de trois décennies. Grâce à différents systèmes d'observations indépendants, les causes de contributions principales sont le réchauffement de l'océan qui se dilate et la fonte des glaces continentales (glaciers, Groenland et Antarctique), deux phénomènes induits par le changement climatique actuel. Grâce à l'observation spatiale, on mesure aussi depuis peu les variations du niveau de la mer le long des côtes continentales, les subsidences des sols ainsi que le recul des littoraux. Nous présentons ici les résultats les plus récents sur les variations actuelles du niveau de la mer aux échelles globale, régionale et locale. Nous discutons également des causes des changements observés ainsi que leurs impacts sur les zones côtières du monde, notamment en France métropolitaine et dans les territoires ultramarins. Nous abordons enfin brièvement les trajectoires possibles de l'élévation future du niveau de la mer pour différents scénarios de réchauffement et différentes hypothèses d'emballement de la fonte des glaces des régions polaires.

MOTS CLÉS

- Niveau de la mer,
- Réchauffement climatique,
- Fonte des glaces,
- Observation spatiale,
- Zones côtières.

¹ Laboratoire d'Études en Géophysique et Océanographie Spatiales, Toulouse

anny.cazenave@univ-tlse3.fr
anny.cazenave@gmail.com

MER.
23
SEPTEMBRE

JOURNÉE 2

DONNÉES MARÉGRAPHIQUES AU PROFIT DE LA CONNAISSANCE ET DE L'ACTION PUBLIQUE

Cette matinée mettra en avant l'apport des observations marégraphiques pour la connaissance de l'aléa submersion et l'appui aux politiques publiques au travers deux sessions complémentaires. La première portera sur la valorisation des observations marégraphiques historiques, en abordant la contribution des composantes de marée et des seiches à l'aléa submersion en Méditerranée occidentale, les travaux de data archaeology, essentiels pour reconstituer et valoriser les longues séries du niveau de la mer, ainsi que le Groupe de Travail « Tempêtes et submersions historiques » et sa feuille de route. Elle se conclura par une présentation dédiée à l'utilisation des valeurs extrêmes statistiques du niveau d'eau. La seconde session sera consacrée à l'exploitation des données pour la prévention et la prévision des inondations côtières. Seront présentés le retour d'expérience de Bordeaux Métropole pour élaborer sa stratégie de prévention, les avancées du programme HOMONIM3 pour améliorer la prévision du niveau marin, et en aval des submersions marines, ainsi que les nouveaux outils développés par le CENALT pour la surveillance et l'alerte aux tsunamis dans l'hexagone. Cette matinée rassemblera producteurs, utilisateurs et gestionnaires autour des bonnes pratiques d'analyse et des besoins opérationnels, afin de renforcer l'usage des données marégraphiques au service de l'action publique.

Animateurs :
*Gérard DOLIGEZ (Météo France),
Rodrigo PEDREROS (BRGM),*

Aléas submersion en Méditerranée occidentale : contribution des composantes Ssa et Sa de la marée à l'échelle du bassin et des seiches à l'échelle des baies

Vincent Rey ¹,
Elodie Laffitte ¹,
Tathy Missamou ¹,
Didier Mallarino ²

MOTS CLÉS

- Aléas submersion,
- Composantes Ssa et Sa,
- Seiches,
- Région Provence-Côte d'Azur.

¹ Institut Méditerranéen d'Océanologie (M.I.O), Université de Toulon

² OSU Pytheas, AMU

Le réseau HTM-NET (<https://htmnet.mio.osupytheas.fr/>), initié en 2013 et comprenant aujourd'hui 22 stations le long du littoral Provence-Côte d'Azur, permet une observation des variations du niveau de la mer à l'échelle des baies. Il apporte ainsi un complément aux données des marégraphes, implantés dans les grands ports du littoral (Nice, Toulon, Marseille, Fos-sur-Mer).

Les aléas de submersion résultent de la combinaison de plusieurs facteurs. La pression atmosphérique est le facteur de variation du niveau d'eau prépondérant sur la côte Provence-Côte d'Azur, celui-ci augmentant de 1 cm pour une baisse de pression de 1hPa dans l'hypothèse isostatique. Les effets de la marée sont à peu près identiques le long de cette côte, avec un marnage inférieur à 35 cm pour la résultante des composantes semi-diurnes et diurnes. À ces variations s'ajoutent les variations de niveau aux échelles semi-annuelle et annuelle, aux origines atmosphériques, stériques ou astronomiques. Les composantes Ssa, semi-annuelle et Sa, annuelle, sont liées à la révolution de la terre autour du soleil, mais à ces mêmes périodes s'ajoutent les variations dues à la dilatation thermique des masses d'eau (effets stériques). En Méditerranée occidentale, la composante annuelle est la plus importante, avec une amplitude d'environ 6,5 cm, la composante semi-annuelle étant environ deux fois plus faible et déphasée. La combinaison des deux induit une variation du niveau d'environ de 17 cm, assez variable d'une année à l'autre, avec un maximum à la fin de l'automne et un minimum à la fin de l'hiver.

Aux variations de niveaux à l'échelle du bassin s'ajoutent localement, à des échelles temporelles de quelques minutes à quelques dizaines de minutes, les effets du vent, de la pression, ou des ondes longues (oscillations du niveau de la mer à des périodes supérieures à celles de la houle). Si le vent peut être à l'origine d'un basculement significatif pour des plans d'eau d'assez faible profondeur, son effet reste bien plus faible pour des bassins de plus grande profondeur d'eau, avec par exemple une différence de niveau d'eau inférieure à 10 cm entre le large et la côte pour la petite Rade de Toulon. Les effets locaux comme les oscillations résonantes, appelées seiches, à l'échelle des baies, aggravent les risques de submersion lorsqu'elles sont générées pour des niveaux d'eau déjà élevés. Ces oscillations, dont l'amplitude peut dépasser 20 cm (soit une variation de niveau de 40 cm) sont régulièrement observées dans la petite Rade de Toulon à des périodes de 18 et 45 minutes environ, mais aussi dans les baies ouvertes le long de la côte. L'absence de plateau continental et le changement de bathymétrie rapide près de la côte favorisent les phénomènes d'interférence pour ces ondes longues, d'origines diverses (états de mer associés à des tempêtes, fronts d'ondes, météo-tsunamis, tsunamis).

Les activités de « *Data Archaeology* » au Shom (France)

Inge Van Den Beld¹
et l'équipe de *Data
Archaeology*

MOTS CLÉS

- Marégraphie,
- Séries reconstruites,
- Mesures historiques,
- Data archéologie.

¹ Shom

Les zones côtières sont vulnérables au changement climatique, notamment en raison de l'élévation du niveau de la mer et des niveaux d'eau extrêmes provoqués par des phénomènes météorologiques remarquables. Pour mieux comprendre l'impact actuel et futur des niveaux de mer extrêmes sur le littoral, il est important d'étudier le passé. Les relevés historiques du niveau de la mer permettent d'estimer plus précisément son évolution à long terme et les variations des composantes de la marée, ainsi que d'identifier les tempêtes passées. Cependant, ces mesures historiques ne sont souvent disponibles que sous forme papier et donc pas toujours exploitées.

La France possède un important patrimoine historique d'observations du niveau de la mer remontant au milieu du 19^e siècle, grâce aux efforts de l'ingénieur hydrographe Chazallon, qui a initié un réseau de marégraphes sur les côtes françaises en 1850. Ce réseau s'est étendu depuis et s'appelle actuellement RONIM. Le Service national d'hydrographie et d'océanographie (Shom), possède une grande quantité de mesures précieuses du niveau de la mer, principalement sur support papier, dans ces archives. Le projet « *Data Archaeology* » du Shom vise à reconstituer les observations du niveau de la mer en dématérialisant les documents papier par scannage d'images, puis en numérisant les mesures afin de constituer un jeu de données numériques couvrant plusieurs décennies, voire plus d'un siècle dans certains cas. La dernière étape du processus *Data Archaeology* est un contrôle de la qualité des données historiques reconstruites, incluant le rattachement des mesures à un seul zéro hydrographique qui pourrait avoir évolué au fil du temps. *In fine*, ces séries historiques de marées validées, combinées aux observations récentes, permettront d'étudier l'élévation du niveau de la mer ainsi que les niveaux marins extrêmes.

Plusieurs séries ont été reconstruites au cours du temps (Brest, Saint-Nazaire, Saint-Jean-de-Luz, Saint-Servan/Saint-Malo,...). Actuellement, trois projets sont en cours ou viennent de finir (Cherbourg, Le Havre et l'estuaire de la Gironde). Ici, nous présentons les activités de « *Data Archaeology* » du Shom incluant le processus de reconstruction, l'inventaire et la dématérialisation des archives au Shom et quelques récents résultats des projets ainsi que les implications dans des projets nationaux et internationaux.

Présentation de la feuille de route du Groupe de Travail « Tempêtes et Submersions Historiques »

Marion Chapalain¹
et les membres
du GT-TSH

MOTS CLÉS

- Tempêtes,
- Submersions marines,
- Données historiques,
- Niveaux marins,
- Niveaux extrêmes,
- Bases de données,
- Changement climatique,
- Groupe pluridisciplinaire.

¹ Shom

marion.chapalain@shom.fr

Depuis dix ans le groupe de travail « Tempêtes et Submersions Historiques » (GT-TSH) apporte son expertise pluridisciplinaire sur les informations relatives aux événements météo-marins extrêmes. Composé d'ingénieurs, chercheurs, statisticiens et historiens appartenant à différents organismes, il vise à fédérer la communauté française impliquée dans l'étude des submersions marines historiques et à s'impliquer sur celles à venir. Historiquement centré sur les façades Atlantique-Manche-Mer du Nord et les données historiques, le GT-TSH élargit progressivement son champ d'études aux territoires méditerranéens et ultra-marins, ainsi qu'aux enjeux actuels et futurs liés au changement climatique. Il contribue également aux actions de la feuille de route Submersion Marine de la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR).

Pour renforcer sa coopération, le GT-TSH a mis en place une convention de coopération scientifique, structurée autour d'un comité de pilotage (COPI), de sous-groupes de travail thématiques et d'une feuille de route (FdR), élaborée en 2026. Ici, nous présentons cette feuille de route qui fixe les principales orientations stratégiques du GT-TSH. Définie sur une période de 4 à 5 ans, elle pourra être révisée annuellement par le COPI ou lors des réunions plénières, en fonction des avancées et des besoins identifiés et s'articule autour de 4 axes techniques :

- **Axe 1 - Valorisation des travaux existants du GT-TSH :** Valorisation et mise en visibilité des travaux du GT-TSH via des publications et une démarche de DOIfication. Un inventaire des structures similaires aux échelles européenne et internationale permettra de positionner le GT dans le paysage scientifique.
- **Axe 2 - Compréhension de l'évolution des niveaux extrêmes avec le changement climatique :** Amélioration des connaissances sur l'évolution du niveau marin moyen et des niveaux extrêmes depuis la sortie du Petit Âge Glaciaire jusqu'à nos jours.
- **Axe 3 - Les données historiques :** Renforcement du lien avec les historiens et recherche de nouveaux contacts.
- **Axe 4 - Modélisation sémantique et FAIRisation des données :** Poursuite des actions du sous-groupe « Bases de données », pour favoriser l'interopérabilité et la FAIRisation des données.

Utilisation des valeurs Extrêmes statistiques du Niveau d'eau (NIVEXT)

Gaël André ¹,
Xavier.Kergadallan ²,
Julie Cheynel ³

MOTS CLÉS

- Statistiques des extrêmes,
- Niveau marin,
- Élévation du niveau moyen des mers.

¹ Shom

² Cerema

Le changement climatique, la forte croissance de la population en bord de mer, l'augmentation du niveau moyen des mers intensifient les pressions qui pèsent sur le littoral. L'ouvrage de référence fournissant les estimations des valeurs extrêmes statistiques de niveau d'eau (NIVEXT) réalisé par le Cerema et le Shom, édité en 2022 dans le cadre des travaux des feuilles de route des opérateurs risques naturels initiées par la DGPR, a pour objectif d'aider les communes et les collectivités territoriales concernées par l'aléa de submersion marine à se préparer à la gestion des risques et des crises, ainsi qu'à optimiser leurs capacités de vigilance et d'alerte.

Cette étude fournit les valeurs extrêmes de niveau d'eau marin, le long du littoral métropolitain, estimées par analyse statistique des observations marégraphiques, jusqu'à une période de retour de 1 000 ans. La méthodologie d'analyse utilisée dans cette étude, s'appuyant sur la théorie des valeurs extrêmes, sera décrite.

De plus, les résultats fournis dans cet ouvrage ne sont pas toujours faciles à appréhender par les utilisateurs. Des préconisations d'emploi seront données concernant l'utilisation des valeurs statistiques à retenir en fonction des cas d'usage. Par exemple, les incertitudes et les périodes de retour à prendre en compte peuvent dépendre de leurs applications. En effet, les estimations fournies vont jusqu'à la période de retour 1 000 ans mais en raison de la forte incertitude liée à ces résultats, il appartient à l'utilisateur de vérifier si cela a encore du sens. Il est également important de garder à l'esprit que la méthode utilisée est une approche nationale de détermination des valeurs extrêmes de niveau d'eau sans l'action des vagues. Pour une analyse à l'échelle locale il est nécessaire de croiser ces résultats avec l'ensemble des informations disponibles, en particulier l'éventuelle surélévation liée au déferlement des vagues (wave set-up), la subsidence côtière et les données sur les niveaux d'eau historiques. Enfin, dans le cadre de la présente étude, les niveaux moyens aux ports de référence sont estimés au 1^{er} janvier 2022 par régression linéaire sur les moyennes annuelles des niveaux marins observés. La projection future des valeurs extrêmes fournies nécessite la prise en compte de l'élévation du niveau moyen et de son accélération. Un exemple d'utilisation des valeurs statistiques dans le cadre des réponses aux demandes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pour les phénomènes liés à l'action de la mer sera présenté ainsi que les futures évolutions envisagées de l'ouvrage prévu pour 2028.

Les données marégraphiques au cœur de la stratégie de prévention des inondations de Bordeaux Métropole

Yvon Mensencal¹

MOTS CLÉS

- Bordeaux Métropole,
- GEMAPI,
- Estuaire,
- Gironde,
- Garonne,
- Marégraphes.

¹ Bordeaux Métropole – Service GEMAPI

y.mensencal@bordeaux-metropole.fr

Bordeaux Métropole est particulièrement exposée au risque d'inondations fluvio-maritimes, comme l'a une nouvelle fois illustrée le mois de février 2026. Dans ce contexte, le service GEMAPI de Bordeaux Métropole a la charge de la définition et de la mise en œuvre d'une stratégie de prévention adaptée. Celle-ci repose sur une compréhension fine des mécanismes hydrauliques, largement fondée sur l'analyse des données issues des marégraphes de l'estuaire.

Cette connaissance a été significativement améliorée dans le cadre des études du Référentiel Inondation Gironde (RIG, 2005-2015). Ces travaux ont permis notamment l'analyse statistique des niveaux extrêmes de pleine-mer, l'étude des événements hydro-météorologiques majeurs et l'identification du rôle des différents forçages hydro-climatiques.

Depuis 2014, la répétition d'événements débordants, présentant des périodes de retour élevées, conduit toutefois la Métropole à réinterroger ces acquis, en particulier au regard de la rehausse du niveau océanique.

Bordeaux Métropole élabore actuellement sa stratégie de prévention à l'horizon 2050, qui sera déclinée dans le cadre du prochain PAPI. Dans ce contexte, plusieurs questions structurantes émergent : la répétition des événements rares interroge la robustesse des analyses statistiques existantes ; l'élévation du niveau marin, actuelle et future, est susceptible de modifier les périodes de retour des niveaux de pleine mer ; enfin, la prise en compte de la durée de dépassement de seuils, déterminante pour les volumes débordés, constitue un enjeu méthodologique majeur.

L'exploitation des données marégraphiques disponibles, notamment celles issues du projet dataArchaeology de reconstruction des séries, permettra de consolider les connaissances et d'apporter des éléments de réponse essentiels à l'élaboration d'une stratégie de prévention à moyen terme, en adéquation avec les évolutions du fonctionnement hydrodynamique de l'estuaire de la Gironde.

Bilan HOMONIM3 : avancées et apports pour la prévision opérationnelle des submersions marines

Audrey Pasquet¹,
Denis Paradis²

MOTS CLÉS

- Surcote,
- États de mer,
- Submersion marine,
- Prévision opérationnelle,
- HOMONIM,
- VVS.

¹ Shom

² Météo France

audrey.pasquet@shom.fr
denis.paradis@meteo.fr

La phase 3 du projet HOMONIM a permis l'évolution des capacités nationales de prévision des submersions marines selon deux axes complémentaires : d'une part maintenir et consolider les chaînes opérationnelles existantes utilisées par Météo-France pour la Vigilance vagues-submersion (VVS), d'autre part, préparer une modélisation plus réaliste, plus fine et plus exploitable pour l'appui à la gestion de crise. Au lancement du projet, l'état de l'art reposait encore largement sur des chaînes de modélisation barotrope et spectrale, robustes mais limitées dans la frange côtière, avec des difficultés de représentation des dynamiques littorales, estuariennes, des zones semi-fermées et des processus dominés par les vagues. HOMONIM3 a initié les travaux pour dépasser ces limites tout en permettant de simplifier les systèmes de prévision au profit de la VVS et d'assurer une cohérence scientifique et fonctionnelle entre prévision nationale et systèmes locaux d'aide à la décision. Le bilan final fait apparaître plusieurs acquis structurants :

Un patrimoine de données de référence plus riche a été constitué, avec en particulier la campagne RiCoRé sur l'Île de Ré, de nouveaux MNT et la documentation d'un panel de situations remarquables.

Sur les aspects modélisation, les systèmes existants ont été maintenus, modernisés et adaptés aux évolutions des infrastructures de calcul. La suite de modèles de prévision TOLOSA a atteint une maturité suffisante pour permettre le remplacement opérationnel du modèle Atlantique-Manche-Mer du Nord historique reposant sur HYCOM et une prochaine mise en production en temps réel de la modélisation couplée (i.e. avec calcul du wave setup) à 30-50 m de résolution afin d'en évaluer l'apport pour la VVS. Ce projet a également fourni les briques logicielles et les données permettant d'étudier la faisabilité scientifique et technique (avec visée opérationnelle) d'une modélisation métrique vague à vague non hydrostatique. Enfin, il a permis de porter la prévision d'ensemble à un niveau d'exploitation fonctionnelle par les prévisionnistes.

Les études d'interfaçage et les échanges avec les opérateurs de la gestion de crise (systèmes locaux, RDI-L, SPC, etc.) ont partiellement répondu à un besoin croissant de données d'entrée plus précises. Cet axe a permis d'initier une remontée de besoins à poursuivre pour esquisser les évolutions souhaitables de la production actuelle ciblant la VVS.

Au bilan, HOMONIM3 n'a pas seulement produit des améliorations incrémentales directes. Il a permis d'entamer une transition du système de référence, un dispositif principalement centré sur la prévision de l'aléa au large et à la côte, vers un écosystème hiérarchisé de modélisations, capable d'alimenter la vigilance infra-départementale, l'appui au RDI littoral et, à terme, la prévision locale des submersions.

L'alerte précoce aux tsunamis : exemples de systèmes en place et leurs évolutions

Hélène Hébert ¹,
Marine Ménager ¹,
Pierre Andraud ¹,
Audrey Gailler ¹,
Philippe Heinrich ¹,
Aurélien Dupont ¹,
Pascal Roudil ¹,
Anthony Jamelot ²

MOTS CLÉS

- Tsunami,
- Alerte,
- Marégraphie,
- Temps réel,
- Niveau de la mer,
- Câbles sous-marins,
- Altimétrie.

¹ CEA, DAM, DIF, 91297
Arpajon, France

² Laboratoire de
Géophysique de Tahiti,
98 713, Papeete, Tahiti

À la suite du tsunami catastrophique de l'océan Indien, le 26 décembre 2004, l'Unesco a coordonné la mise en place de systèmes d'alerte aux tsunamis pour tous les bassins océaniques exposés, similaires à celui organisé dans le Pacifique dès 1965. Le système pour le NE Atlantique et la Méditerranée (NEAM) a ainsi été développé. La France, déjà responsable de l'alerte tsunami en Polynésie française depuis les années 1960 (Centre Polynésien de Prévention des Tsunamis, CPPT), a décidé de mettre en place le Cenalt (Centre national d'alerte aux tsunamis), pour les risques vis-à-vis de ses côtes méditerranéennes et atlantiques. Le Cenalt est opérationnel depuis 2012, dans un partenariat CEA, CNRS, Shom, et soutenu par les ministères de l'Intérieur et de l'Écologie.

L'alerte aux tsunamis implique en premier lieu la détection la plus précoce possible de l'événement source, en général un fort séisme sous-marin, qui peut être rapidement identifié et caractérisé par les réseaux sismiques temps réels appropriés, avec des méthodes qui évoluent pour aller au plus vite dans la caractérisation de la source. Peu à peu, certaines sources gravitaires peuvent être détectées également, avec des réseaux locaux. La confirmation et la caractérisation d'un éventuel tsunami n'est possible que grâce à la détection, dès que possible, des variations du niveau de la mer, ces mesures contribuant aussi à la levée de l'alerte.

Cette présentation abordera l'alerte tsunami, les réseaux déployés pour la caractérisation rapide. La simulation numérique joue un rôle croissant dans la caractérisation et l'alerte, et le rôle des données du niveau de la mer y est déterminant pour l'évaluation numérique détaillée. Les améliorations des codes de simulation permettent déjà de prévoir les effets en avance dès lors que le temps de propagation le permet, comme en Polynésie, et l'apprentissage automatique en test au Cenalt offre la perspective de réduire les temps de calcul. En parallèle les mesures du niveau de la mer, pour contraindre les modèles, connaissent des évolutions marquées. Instrumenter les câbles sous-marins (concept SMART), tirer parti des fibres optiques et des données satellitaires, sont autant de perspectives pour intégrer de nouvelles données qui sont nécessaires dans les dispositifs d'alerte.

JEU.
24
SEPTEMBRE

JOURNÉE 3

MESURER LE NIVEAU DE LA MER : LES ÉLÉMENTS CLEF D'UN OBSERVATOIRE MARÉGRAPHIQUE

Cette journée mettra en lumière les éléments clés d'un observatoire marégraphique, en soulignant les méthodes, les instruments co-localisés et leur intégration dans des réseaux robustes, indispensables pour garantir une mesure de qualité du niveau de la mer. Les échanges débiteront par une session dédiée à la réflectométrie GNSS pour la mesure du niveau marin, une technique émergente exploitant les signaux réfléchis sur la surface de la mer. La matinée se poursuivra avec un focus sur les observatoires du littoral, qui jouent un rôle essentiel dans la surveillance intégrée des environnements côtiers. Seront notamment présentés des dispositifs multi-capteurs déployés en contexte littoral ou estuarien, combinant une diversité d'instruments indispensables pour documenter et analyser la variabilité tidale, saisonnière et interannuelle. Enfin, une session sera consacrée aux réseaux marégraphiques, piliers historiques et plus que jamais nécessaires pour l'observation in situ du niveau de la mer, dont la modernisation et l'interopérabilité conditionnent la qualité des séries temporelles et des indicateurs dérivés. Cette journée rassemblera la communauté technique et scientifique autour des bonnes pratiques d'observation, des innovations instrumentales et des exigences de qualité nécessaires au fonctionnement d'un observatoire marégraphique moderne.

Animateurs :
Ronan AUTRET (Shom)
Pierre BOSSER (ENSTA)

Mesure du niveau marin par réflectométrie interférométrique GNSS - évaluation des méthodes fréquentielles

Odilon J. Houndegnonto ¹,
Pierre Bosser ¹,
Gaël André ²,
Clémence Chupin ¹,
Ronan Autret ²

MOTS CLÉS

- GNSS-IR,
- Niveau marin,
- Hauteur d'eau,
- État de mer.

¹ ENSTA IP Paris, campus de Brest,

² Shom

Le GNSS-IR (Global Navigation Satellite System – Interferometric Reflectometry) est une technique de télédétection opportuniste qui exploite les interférences entre les signaux GNSS directs et ceux réfléchis par la surface environnante de l'antenne réceptrice (ici, la surface océanique), afin d'estimer des paramètres tels que le niveau de la mer, l'état de surface ou la dynamique des vagues. En GNSS, ces signaux réfléchis sont connus sous le nom de trajet multiple et sont considérés comme une source d'erreur car ils perturbent le positionnement. Cependant, à partir des années 2000, plusieurs travaux pionniers, notamment ceux de Larson et al. (2013) ont démontré le potentiel du GNSS côtier pour le suivi du niveau marin et de l'état de mer. En effet, les signaux réfléchis qui se "mélangent" par interférence aux signaux directs induisent des variations du signal-à-bruit (SNR, Signal-to-Noise Ratio) en fonction des propriétés de la surface réfléchissante : les oscillations dans le SNR renseignent sur la hauteur de la surface réfléchissante, tandis que l'atténuation de ses oscillations porte l'empreinte de la rugosité de cette surface.

Deux grandes méthodes permettent l'estimation de la hauteur de la surface réfléchissante pour le suivi du niveau marin : l'analyse spectrale par détermination de la fréquence dominante significative des oscillations du SRN d'une part, et la modélisation analytique inverse du SNR d'autre part. La méthode spectrale est la plus utilisée et documentée avec un outil ouvert pour l'analyse GNSS-IR (GNSSREFL, Larson et al. 2013), tandis que la méthode inverse, qui permet une exploitation exhaustive du SNR, demeure encore peu documentée (Nievinski & Larson, 2014 ; Strandberg et al., 2016 ; Pira et al., 2025).

La présente étude vise à évaluer la méthode spectrale au moyen de l'outil GNSSREFL en utilisant des données issues des constellations GNSS (GPS, GLONASS et GALILEO), avec application sur quelques cas de sites de marégraphe en France. Nous analysons la performance et les limites de la méthode, tout en évaluant les ordres de grandeur des écarts observés avec les données des marégraphes de référence (Brest, Saint-Jean-de-Luz, Marseille). Nous avons noté des différences moyennes (médianes) de l'ordre de -3 à 10 cm (-3 à 5 cm) avec des écarts-types de 10-30 cm. Des différences quadratiques moyennes (RMSD) de 10-30 cm sont observées, avec une forte sensibilité à l'état de mer, notamment sur le site de marégraphe de Marseille. Ces observations justifient l'intérêt de documenter davantage la méthode inverse pour une exploitation exhaustive des données SNR des antennes GNSS densément présentes en régions côtières.

Estimation du niveau de la mer par réflectométrie interférométrique GNSS avec filtre de Kalman

Alvaro Santamaría-Gómez ¹,
Aurélien Pira ²,
Guy Woppelmann ³

MOTS CLÉS

- GNSS-IR,
- Marée,
- Filtre de Kalman.

¹ Géosciences
Environnement Toulouse,
Centre National d'Études
Spatiales, Toulouse, France

² Littoral ENvironnement
et Sociétés, La Rochelle
Université, La Rochelle,
France

³ Littoral ENvironnement
et Sociétés, La Rochelle
Université, La Rochelle,
France

La demande croissante pour un suivi précis et à haute fréquence du niveau de la mer a favorisé le développement de techniques de mesure alternatives, parmi lesquelles l'interférométrie GNSS par réflectométrie interférométrique (GNSS-IR) apparaît comme une approche prometteuse. Les méthodes GNSS-IR reposent sur l'exploitation du rapport signal/bruit des signaux GNSS utilisés en navigation/positionnement.

Dans ce contexte, nous présentons un algorithme original pour les mesures GNSS-IR du niveau marin, basé sur un filtre de Kalman. Il permet notamment d'estimer la hauteur de l'eau en continu avec une précision de quelques cm et indépendamment du régime de marée et de l'échantillonnage demandé. Des développements en cours pourraient améliorer la précision pour arriver, avec des conditions d'observation appropriées, au niveau centimétrique requis pour les techniques marégraphiques les plus exigeantes.

Cette méthode a été évaluée sur trois sites côtiers présentant des contextes hydrodynamiques contrastés : Brest (France), Sète (France) et Cedar Key (États-Unis). Pour chacun d'eux, au moins une année de données a été analysée avec une fréquence d'échantillonnage de 20 à 30 secondes. Les résultats montrent une différence quadratique moyenne (RMSD) d'environ 2,5 cm par rapport à des marégraphes à proximité. À Cedar Key, l'algorithme a également permis de restituer une baisse du niveau marin de 70 cm induite par le passage de l'ouragan Milton en 2024, avec une RMSD de 2,0 cm, attestant de sa capacité à saisir finement des variations rapides dans des conditions extrêmes.

Grâce à sa précision, sa flexibilité temporelle et sa conception adaptée au temps réel, cette approche constitue une solution économique et évolutive, particulièrement adaptée pour renforcer les réseaux marégraphiques et combler les lacunes géographiques où les techniques traditionnelles sont mises en difficultés.

Mesurer le niveau de la mer : méthode de la réflectométrie GNSS par mesure de phase de porteuse

Nolan Varais ¹,
Jérôme Verdun ²,
José Cali ²,
Laurent Lestarquit ²

MOTS CLÉS

- GNSS,
- Altimétrie,
- Réflectométrie,
- Mesure de phase,
- Géodésie,
- Traitement du signal.

¹ ENST – Le Mans

² GNSS-Pulse

La réflectométrie GNSS (GNSS-R) est une méthode opportuniste d'exploitation des signaux émis en continu par les satellites de positionnement des différentes constellations GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, etc.). Elle est basée sur la collecte des signaux après leur réflexion à la surface de la terre dans le but d'en déterminer certains paramètres géophysiques. Depuis sa théorisation à la fin des années 80, elle trouve des applications telles que la mesure de l'humidité des sols, de l'épaisseur de neige et de glace ou encore du niveau des eaux. Bien qu'il existe plusieurs méthodes de mise en application, la mesure de phase via la collecte indépendante des signaux directs et réfléchis est prometteuse pour une application à l'altimétrie. Les travaux menés dans le cadre de cette thèse ont pour objectif de développer cette implémentation de la réflectométrie et observer ses capacités pour la mesure du niveau des eaux. Pour cela, nous avons commencé par mettre au point une méthodologie afin de modéliser la position spéculaire des réflexions en tenant compte d'un modèle de réflexion sur une surface géodésique plus réelle qu'une simple surface plane. En effet, la modélisation sur une surface plane ne tient pas compte de la courbure de la terre ou de l'ondulation du géoïde et peut donc entraîner une erreur sur la mesure altimétrique lorsque l'altitude de l'antenne de réception augmente. Ainsi, la simple courbure de la terre modélisée par une ellipsoïde peut causer une erreur de 1 cm pour une antenne située à plus de 100 m.

En septembre 2021, le Cnes a conduit une importante campagne aéroportée de collecte de données de réflectométrie sur plusieurs sites de la côte atlantique. Ce manuscrit détaille ainsi les travaux réalisés pour mettre en place une chaîne de traitement afin de déterminer le déphasage entre les signaux directs et réfléchis. Cette chaîne a été testée, de l'acquisition à l'estimation des hauteurs d'eau, sur le lac de Carcans-Hourtin et les mesures altimétriques ont été comparées aux mesures réalisées par une bouée GNSS. Plusieurs survols du lac ont été réalisés à des altitudes de 300 (91,44), 500 (152,4), 1000 (304,8) et 2000 (609,6) pieds (m), en utilisant les fréquences GPS L1 et L5 et les fréquences Galileo E1 et E5. La réflectométrie GNSS pour l'altimétrie est tributaire de la cohérence du signal, elle-même dépendante de la rugosité de la surface de réflexion. Lors du traitement des données acquises sur le lac de Carcans-Hourtin, nous avons montré qu'il est possible d'améliorer la cohérence via la prolongation de l'intégration cohérente au-delà des 20 ms (pour GPS L1). Mon travail de thèse a ainsi permis de montrer que le GNSS-R peut fournir un véritable outil pour la mesure absolue des niveaux d'eaux océaniques et continentales. Avec les traitements adéquats, elle doit permettre d'atteindre des performances similaires aux méthodes satellitaires actuelles (inférieur à 10 cm) avec un coût bien inférieur aux satellites dédiés et une couverture spatiale bien supérieure aux marégraphes.

Un observatoire des écosystèmes estuariens de Guyane

Charlène Steinmetz ¹,
Giovanni Frati ¹,
Tanguy Maury ¹,
Ludovic Granjon ¹,
Guillaume Brunier ²,
Antoine Gardel ¹,

MOTS CLÉS

- littoral amazonien,
- estuaires,
- bancs de vase,
- mangrove,
- observations hydrodynamiques

¹ UAR 3456 LEEISA, CNRS, Université de Guyane, Ifremer, Cayenne, Guyane française

² BRGM Guyane, Cayenne, Guyane française

La côte vaseuse des Guyanes constitue l'un des systèmes côtiers les plus dynamiques au monde. Son évolution est contrôlée par la migration vers l'ouest de bancs de vase alimentés par les sédiments fins de l'Amazonie, induisant une alternance quasi permanente de phases d'érosion et d'accrétion. Cette dynamique influence fortement la morphologie littorale, le fonctionnement des écosystèmes côtiers – notamment les mangroves et les marais arrière-littoraux – ainsi que les activités socio-économiques liées à l'exploitation et à l'accessibilité des infrastructures portuaires. En Guyane française, ces enjeux sont renforcés par la croissance démographique et l'urbanisation du littoral, dans un contexte de changement climatique susceptible d'accentuer les pressions exercées sur les systèmes côtiers et estuariens.

Cette étude porte sur la péninsule de Cayenne, bordée par les estuaires méso-tidaux du Mahury et de la rivière de Cayenne. Ces deux systèmes jouent un rôle écologique et socio-économique majeur en soutenant les activités halieutiques, le développement territorial et la biodiversité côtière. Afin de mieux caractériser leur fonctionnement hydrodynamique et hydro-sédimentaire, deux dispositifs de suivi environnemental à haute fréquence ont été déployés. Dans l'estuaire du Mahury, une bouée instrumentée mise en place dans le cadre du projet OHLTIM² (Observation Hydrodynamique Long Terme des estuaires du Mahury et du Maroni) enregistre les conditions de houle, les paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau et les profils de courant grâce à un ADCP. Dans l'estuaire de la rivière de Cayenne, quatre stations fixes mesurent en continu la salinité, la turbidité, la température, le niveau d'eau et l'oxygène dissous le long du gradient estuarien. Ce site constitue le Site transversal outremer Guyane de l'IR ILICO.

Les séries temporelles acquises mettent en évidence la propagation de l'onde de marée et la forte variabilité hydro-sédimentaire de l'estuaire de la rivière de Cayenne aux échelles tidale, saisonnière et interannuelle. Les observations révèlent des variations marquées de la salinité et de la turbidité, associées aux processus d'intrusion saline et à la dynamique des maxima de turbidité estuariens.

L'analyse des courants résiduels et des flux de matières en suspension souligne l'existence de mécanismes de transport contrastés selon les conditions hydrologiques et les régimes de marée. Ces résultats apportent de nouvelles connaissances sur le fonctionnement des estuaires tropicaux hyperturbides de Guyane et démontrent l'intérêt d'un suivi instrumental à haute fréquence pour l'évaluation des changements environnementaux et l'appui à la gestion durable des zones côtières.

Niveaux d'eau et submersion en contexte récifal corallien : apports d'un observatoire pluridisciplinaire à La Réunion

Emmanuel Cordier¹,
France Floc'h²,
Sébastien Jaquemet³,
Yoan Benoît¹,
Sophie Bureau³,
Manon Gibaud¹,
Mathieu David¹,
Pierre Stamenoff¹,
Ronan Mira¹

MOTS CLÉS

- Récif corallien,
- Observations,
- GNSS,
- Submersion,
- Processus physiques,
- Vagues et ondes infragravitaires.

¹ OSU-Réunion - UAR3365,
Université de La Réunion

² Geo-Ocean UMR6538
UBO/IUEM Plouzané

³ UMR ENTROPIE, Université
de La Réunion

La résilience et la résistance des récifs coralliens face à la montée du niveau marin constituent un enjeu majeur pour la protection des littoraux insulaires tropicaux. Les niveaux d'eau dans les systèmes récifo-lagonaires (setup, run-up) ainsi que la propagation et la transformation des vagues (gravitaires, infragravitaires et plus longues), dépendent directement des hauteurs d'eau sur le récif, elles-mêmes contrôlées par la marée et le niveau marin moyen (Bruch et al., 2022). Les contributions des différents processus se révèlent d'autant plus importantes en contexte microtidal, comme à La Réunion, où des variations décimétriques du niveau d'eau pèsent fortement sur la dynamique récifale. Ces résultats sont aujourd'hui approfondis dans le cadre du projet FUTURISKS (PPR « océan et climat »), avec pour objectif d'affiner la compréhension des processus hydrodynamiques et de submersion sur les récifs coralliens. Les résultats préliminaires révèlent une spécificité marquée du site : présence d'ondes infragravitaires et d'ondes plus longues avec un impact majeur sur le niveau d'eau atteint à la côte, et une variabilité du niveau d'eau atteignant 30 % sur seulement 3 km de linéaire côtier, liée à la forme de la crête récifale entre le nord et le sud de l'édifice.

Pour interpréter et exploiter pleinement ces processus, le suivi des variations du niveau d'eau, dont la marée et le niveau marin absolu sont des composantes, devient indispensable. Ce suivi fait l'objet de l'intégration du réseau SONEL, avec l'installation colocalisée d'un GNSS et d'un marégraphe, au sein de l'observatoire pluridisciplinaire ILICO/STO (Site Transversal Outremer) porté par l'Observatoire des Sciences de l'Univers de La Réunion. Rattaché à un référentiel altimétrique connu, ce niveau moyen absolu permettra de projeter directement les hauteurs d'eau sur le terrain et de quantifier la submersion réelle à la côte. Enfin, en complément de ces suivis, cette installation devrait permettre également de valider la réflectométrie GNSS en milieu côtier.

Cette présentation montre comment un observatoire — mesures pérennes, instrumentation dédiée et équipe opérationnelle connaissant le site — constitue un terrain propice à l'émergence de projets de recherche (PPR, PEPR) ciblés sur des questions fondamentales encore ouvertes.

Suivi de la stabilité verticale des observatoires de marée

Thomas Donal¹

MOTS CLÉS

- Marégraphie,
- Géodésie,
- Métrologie,
- Nivellement,
- GNSS,
- InSAR.

¹ Institut national de l'information géographique et forestière - IGN

thomas.donal@ign.fr

Le contrôle de la stabilité verticale des observatoires de marée constitue une opération essentielle en océanographie et en géodésie.

Un marégraphe fixé au quai d'un port mesure une hauteur d'eau relative par rapport à son point d'ancrage terrestre. Or, l'écorce terrestre subit des déformations permanentes et la structure même de l'observatoire peut présenter des instabilités locales.

Pour distinguer les variations réelles du niveau de la mer des déplacements verticaux du marégraphe, un suivi de stabilité de l'observatoire est indispensable.

Cette surveillance s'appuie sur plusieurs techniques métrologiques pouvant être associées de manière complémentaire.

Traditionnellement, des campagnes régulières de nivellement de précision permettent de contrôler la stabilité d'un réseau de repères locaux solidaires de l'observatoire.

L'intégration d'une station GNSS permanente au sein de l'observatoire de marée fournit un suivi cinématique continu, capable de détecter le moindre affaissement ou soulèvement du site.

Des techniques plus récentes enrichissent aujourd'hui la résolution spatiale et temporelle des observations, à l'instar de l'interférométrie radar satellitaire (InSAR), optimisée par le déploiement de coins-rélecteurs.

Par ailleurs, de nouvelles approches couplent simultanément observation de niveau de la mer et observation du niveau du sol telles que la réflectométrie GNSS.

Pour garantir l'homogénéité et la fiabilité des mesures métrologiques, ces techniques exigent le respect de protocoles méthodologiques rigoureux.

In fine, ce suivi métrologique des observations de marée assure le rattachement des mesures relatives en données absolues, indispensables pour quantifier avec certitude l'évolution réelle du niveau de la mer.

Déploiement de capteurs de pression permanents pour mieux comprendre la dynamique littorale dans le cadre du Service National d'Observation DYNALIT

Stéphane Bertin ¹,
Xavier Bertin ²

MOTS CLÉS

- Marégraphie,
- Géodésie,
- Métrologie,
- Nivellement,
- GNSS,
- InSAR.

¹ UMR 6538 Geo-Ocean, CNRS-UBO-Ifremer-UBS, Plouzané, France

² UMR 7266 LIENSs, CNRS-La Rochelle Université, La Rochelle, France

L'élévation du niveau marin, combinée à l'anthropisation croissante des zones littorales, accroît fortement les risques d'érosion et de submersion marine. Dans ce contexte, le Service National d'Observation DYNALIT a pour mission de collecter, harmoniser et pérenniser des données de qualité métrologique afin de caractériser, sur le long terme, le fonctionnement physique et l'évolution morphologique des littoraux. Depuis le début des années 2000, des levés topo-morphologiques sont réalisés à l'aide de différentes techniques (GNSS-RTK, photogrammétrie, LiDAR, etc.). Le réseau comprend aujourd'hui 35 sites-atelier répartis sur cinq façades maritimes de la France hexagonale et d'outre-mer, et couvrant les trois principaux types de côtes : les côtes d'accumulation sédimentaire, les côtes rocheuses et à falaises, ainsi que les estuaires. Ces observations des évolutions morphologiques du littoral français constituent une ressource essentielle pour la recherche. Elles alimentent notamment le développement et la validation de modèles numériques de morphodynamique côtière, l'évaluation d'approches de télédétection satellitaire, et l'élaboration de stratégies de gestion et d'adaptation face aux évolutions futures du littoral.

Les évolutions morphologiques des littoraux sont principalement contrôlées par les états de mer, dont il est indispensable de caractériser précisément la climatologie et la variabilité. À ce forçage s'ajoute le niveau d'eau à la côte qui, en particulier sur les sites soumis à la marée, module l'énergie atteignant le rivage et influence la limite supérieure d'action des forçages hydrodynamiques. Afin de mieux caractériser les états de mer incidents, les niveaux d'eau et leurs liens avec les évolutions morphologiques, en particulier lors des événements extrêmes, nous avons entrepris, depuis 2022, le déploiement de capteurs de pression permanents, généralement installés par des profondeurs de l'ordre de 10 m, sur plusieurs sites-atelier. En complément de ces observations, nous avons développé une simulation numérique rétrospective des vagues à haute résolution pour l'Océan Atlantique, qui permet de quantifier précisément les états de mer le long des littoraux métropolitains et ultramarins. La combinaison de mesures continues de pression au fond et de simulations numériques permet de mieux comprendre les évolutions morphologiques observées lors des événements extrêmes. Elle permet également d'identifier les limites des modèles opérationnels, fournissant ainsi des informations particulièrement utiles à des organismes tels que le Shom ou EDF R&D. Enfin, une collaboration engagée avec le Shom et l'ENSTA-Bretagne vise à déterminer avec précision le positionnement vertical des capteurs de pression afin de permettre l'intégration des observations continues du niveau d'eau au sein du réseau national de marégraphie REFMAR.

La mesure des hauteurs et débits des cours d'eau : organisation et pratiques métrologiques de l'État

Stéphanie Pitch ¹,
Yan Lacaze ²,
Romain Gallen ²,
Laurent Dieval ²

MOTS CLÉS

- Mesure de niveau,
- Hydrométrie,
- Cours d'eau,
- Estuaires.

¹ VIGICRUES,
² DREAL Nouvelle-Aquitaine
- SPC Gironde Adour
Dordogne

stephanie.pitsch@developpement-durable.gouv.fr

Pour mener à bien ses politiques publiques relatives à l'eau, l'État s'est organisé depuis le XIX^e siècle pour mesurer la hauteur et le débit des cours d'eau. Dans un premier temps la principale préoccupation était la prévention et la prévision des crues, mais le potentiel hydroélectrique puis la recherche et la gestion de la ressource en eau se sont également imposées comme enjeux majeurs au cours du XX^e siècle. Aujourd'hui, les unités d'hydrométrie des DREAL réalisent les mesures tandis que le Service Central Vigicrues (SCV) est chargé de coordonner leurs actions, de fournir méthodologies et outils (matériels ou logiciels) communs, et de conserver et diffuser les données via la base nationale et Hydroportail.

La Charte Qualité de l'hydrométrie – guide de bonnes pratiques (2017) (<https://www.hydro.eaufrance.fr/documentation/charte-qualite-de-lhydrometrie-guide-des-bonnes-pratiques>) est le principal document décrivant les opérations de mesure et d'analyse des données. Des groupes de travail en phase de finalisation ont permis de préciser les exigences concernant la mesure du débit et l'expertise des données. Leurs recommandations auront également vocation à être proposées aux autres producteurs de données.

La mesure de débit est toujours indirecte, et implique systématiquement une mesure du niveau d'eau. Il existe également des mesures de niveau uniquement, notamment dans les estuaires où la relation entre niveau et débit n'est pas univoque. La mesure de niveau est donc fondamentale, et les pratiques, bien que peu cadrées au niveau national, suivent des règles fixées localement et sont malgré tout très semblables selon les DREAL, notamment parce qu'il existe un cycle de formation complet abordant tous les aspects de la chaîne de production de la donnée et un fonctionnement en réseau bien établi.

La présentation décrira ces pratiques : le calage à la référence altimétrique (NGF), le matériel de mesure et d'acquisition utilisé, l'acquisition des données (fréquence, mode), le contrôle sur le terrain des matériels, les étapes de la critique et validation des données, la mise à disposition et le modèle de données (conseils pour bien les utiliser !).

Filtrage des signaux des marégraphes en estuaire

Laurent Dieval¹

MOTS CLÉS

- Filtre passe-bas de type Butterworth,
- Décomposition en ondelettes.

¹ DREAL Nouvelle-Aquitaine - SPC Gironde Adour Dordo

Les principaux estuaires du sud-ouest de la France qui sont la Gironde, l'Adour et la Nivelle voient leurs niveaux de vigilance crue établis par le Service de Prévision des Crues Gironde – Adour – Dordogne (SPC-GAD) [1]. Cette vigilance se définit par quatre niveaux de couleur identique à ceux de Météo-France : vert, jaune, orange et rouge [1]. Elle s'accompagne, à minima, par des prévisions des hauteurs des pleines mers assorties d'incertitude. Elles sont calculées pour chaque marégraphe des estuaires situé dans les zones à fort enjeux (Gironde : Le Verdon, Pauillac, Bordeaux et Libourne ; Adour : quai de Lesseps, Bayonne Pont-Blanc, Saint Laurent de Gosse et Peyrehorade ; Nivelle : Ciboure).

Pour établir les niveaux de vigilance aux stations, le SPC-GAD s'appuie sur plusieurs sources de données : Les premières correspondent aux prédictions du SHOM, les secondes découlent des différents runs de surcote de Météo France (Arome, IFS, Arpège et CEP), la troisième se rapporte aux prévisions des débits des cours d'eau amont, enfin les mesures de hauteurs observées. L'ensemble de ces sources combinées des différents lois de comportements estiment des hauteurs des pleines mers ou/et des hauteurs au pas de temps 5 à 10 minutes. On les superpose les valeurs des seuils de vigilance donnant sa couleur.

Pour caler les hauteurs de prévisions, il faut absolument connaître l'évolution des vingt-quatre dernières heures d'observation. Les données de mesure intègrent différentes grandeurs : les ondes astronomiques, les ondes de sur/décote et le bruit (bruit uniquement pour le SPC-GAD : seule la donnée onde dite longue nous intéresse). Et elles s'entachent aussi de lacunes, de valeurs aberrantes.

Pour récupérer des données d'observations uniquement les grandeurs astronomiques et de sur/décotes, différentes approches ont été expérimentées. Les techniques de moyenne glissante, FFT ne répondent pas (le signal dans nos estuaires se dissymétrise rapidement). Les meilleurs résultats pour nos estuaires sont les filtres passe-bas Butterworth élimine efficacement les bruits haute fréquence tandis que la décomposition en ondelettes de Daubechies permet une séparation fine des composantes tidales et anthropiques.

La présentation montera l'utilisation des différents filtres, les filtres retenus pour réaliser de la prévision avec des exemples. Et se questionnera sur la possibilité ou non de l'utilisation de modèles d'apprentissage pour renforcer le nettoyage du bruit.

[1] <https://www.vigicrues.gouv.fr/territoire/32>

Bilan de l'accompagnement par le Shom au choix et à l'installation de stations marégraphiques

Antoine Lechevalier ¹,
Eloi Droniou ²

MOTS CLÉS

- GEMAPI,
- Prévention des inondations,
- Accompagnement du Shom.

¹ Vannes Agglomération

² Dynamocéan

Dans le cadre de sa compétence GEMAPI (Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations), Golfe du Morbihan - Vannes Agglomération (GMVA) a choisi de renforcer la surveillance du niveau de l'eau dans le golfe du Morbihan. Ce projet s'inscrit dans le Programme d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI) de GMVA visant à mieux comprendre et anticiper les risques de submersion marine. Il a ainsi pu bénéficier d'un financement par le Fonds Barnier.

Pour répondre au besoin identifié de couverture plus fine du golfe du Morbihan, deux nouveaux observatoires marégraphiques ont été installés. Ces installations complètent le marégraphe existant du port du Crouesty (opérationnel depuis 2002) et permettent de combler une lacune d'observation à l'intérieur du golfe.

Le Shom, en tant que référent national pour l'observation du niveau de la mer, a joué un rôle central dans ce projet en :

- Accompagnant GMVA dans la rédaction du cahier des charges et le choix du prestataire (Dynamocéan) ;
- Apportant son expertise technique pour :
 - Le calage des instruments par rapport aux références officielles (zéro hydrographique, IGN69) ;
 - Le rattachement précis des repères terrestres à l'ellipsoïde via des stations GNSS temporaires ;
 - La diffusion des données en open data sur data.shom.fr.

Les données collectées ont un double intérêt :

- À court terme : elles permettront la détection des événements extrêmes (tempêtes, submersions) et l'alerte en temps réel pour les habitants, renforçant la résilience du territoire.
- À long terme : elles permettront d'améliorer les modèles hydrodynamiques et la surveillance de l'élévation du niveau de la mer, au service de l'ensemble des acteurs (collectivités, scientifiques, gestionnaires de risques).

Ce partenariat entre Golfe du Morbihan - Vannes Agglomération, le Shom et Dynamocéan garantit l'interopérabilité et la pérennité des observations. Il permet de renforcer la surveillance du golfe et de mieux anticiper les risques, tout en s'inscrivant dans une démarche à la fois scientifique et opérationnelle au service des acteurs locaux et nationaux.

Le Réseau d'Observation du Niveau de la Mer (RONIM)

Ronan Autret ¹,
Marie Dauguet ¹

MOTS CLÉS

- Marégraphe,
- Réseau RONIM,
- Niveau de la mer,
- Observation,
- Temps réel,
- Open Data.

¹ Shom

ronan.autret@shom.fr
marie.dauguet@shom.fr

Le Shom opère le Réseau d'Observation du Niveau de la Mer (RONIM), une infrastructure nationale comptant près de 50 observatoires de marée permanents sur les côtes françaises métropolitaines et ultramarines. Ce réseau fournit des observations du niveau de la mer, indispensables pour des applications opérationnelles et scientifiques telles que les prédictions de marée, la vigilance vagues-submersion, l'alerte aux tsunamis, ainsi que l'analyse des événements extrêmes et le suivi à long terme des variations du niveau moyen des mers.

Face aux défis permanents de disponibilité et de continuité des flux, le Shom a engagé en 2021 une modernisation significative de ses installations pour améliorer la résilience opérationnelle du réseau RONIM. L'ensemble des observatoires est équipé de capteurs radar et de systèmes de transmission des données en temps réel, accessibles en open data via le portail data.shom.fr. La fiabilité et la continuité de ces observations reposent sur un protocole rigoureux de contrôle et maintenance. Ce dernier inclut l'étalonnage systématique des capteurs, le nivellement topographique des repères terrestres, les observations GNSS et des contrôles in situ réguliers.

L'ensemble de ces exigences, qui s'alignent sur les standards définis par le programme GLOSS de la Commission océanographique intergouvernementale, offrent une visibilité internationale à l'observation française du niveau de la mer. Cette présentation détaillera les caractéristiques techniques du réseau RONIM suite à la modernisation récente des observatoires, les méthodes de contrôle qualité mises en œuvre et les programmes en cours visant à renforcer la fiabilité des données, pilier de la réponse aux enjeux climatiques actuels.

