

Aurélie Maspataud, [a.maspataud@brgm.fr](mailto:a.maspataud@brgm.fr)

## **IMPACTS DES SUBMERSIONS MARINES CHRONIQUES LIEES A L'ELEVATION DU NIVEAU DE LA MER SUR DES INFRASTRUCTURES CRITIQUES DE POLYNESIE FRANÇAISE : CO-CONSTRUCTION DE SERVICE CLIMATIQUE COTIER**

Auteurs : MASPATAUD Aurélie<sup>1</sup>, OURIQUA Jehane<sup>2</sup>, DUVAT Virginie<sup>3</sup>, LE COZANNET  
Gonéri<sup>1</sup>, TEROROTUA Heitea<sup>2,3</sup>, WALKER Patrice<sup>2</sup>

<sup>1</sup> BRGM - 3 av. Claude Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2, France, e-mail:  
[a.maspataud@brgm.fr](mailto:a.maspataud@brgm.fr)

<sup>2</sup> CREOCEAN - Zone Technocéan / Chef de Baie, rue Charles Tellier, 17000 La Rochelle, France, e-  
mail: [ouriqua@creocean.fr](mailto:ouriqua@creocean.fr)

<sup>3</sup> UMR LIENSs 7266 - Université de La Rochelle-CNRS, 2 rue Olympe de Gouges, 17000 La  
Rochelle, France

*L'élévation du niveau de la mer, en se superposant au signal de marée, aura pour conséquence des submersions chroniques, à marée haute, par conditions météorologiques normales. Dans le cadre du projet INSeaPTION, un service climatique côtier évaluant ce risque de submersions chroniques a été co-construit avec les autorités et les opérateurs portuaires et aéroportuaires. Nous présentons des résultats portant sur le port et l'aéroport de Tahiti et fondés sur des projections probabilistes de l'élévation du niveau de la mer qui étendent les projections du GIEC de 2014. Nous mettons en évidence que de telles submersions chroniques ont au moins une chance sur deux de se produire sur le port et l'aéroport de Tahiti, en l'absence d'adaptation, quel que soit le scénario de changement climatique. Cependant, une forte réduction des émissions de gaz à effets de serre permet de retarder ce phénomène de plusieurs décennies. Enfin, de tels événements ont de très faibles probabilités de se produire avant 2050.*

*Mots-clefs : Elévation du niveau de la mer ; submersion chronique ; infrastructures critiques ; Polynésie française ; service climatique.*

### **I. INTRODUCTION**

L'une des conséquences de l'élévation du niveau de la mer (ENM) est la possibilité de submersions marines chroniques récurrentes ("*chronic flooding*" ou "*nuisance flooding*"), se produisant à marée haute, dans des conditions météorologiques calmes (Sweet and Park, 2014 ; Moftakhari *et al.*, 2015). Ce phénomène est susceptible de perturber les activités économiques dépendant d'infrastructures portuaires, aéroportuaires, industrielles ou commerciales situées en zones basses (Hino *et al.*, 2019).

En contexte insulaire, tel qu'en Polynésie française, de nombreuses infrastructures majeures portuaires ou aéroportuaires sont implantées à de très faibles altitudes au-dessus du niveau de la mer. Ainsi, l'aéroport de Tahiti/Faa'a comprend non-seulement une piste d'atterrissage située à  $1.5 \pm 0.30$  m NGPF, mais aussi des zones de dégagement, de desserte et de stationnement dont les altitudes sont légèrement inférieures ( $1.20 \pm 0.20$  m NGPF). Les quais ou zones basses du port de Papeete par lequel transite l'essentiel des marchandises importées en Polynésie sont situées quant à elles entre 1 m NGPF et  $1.50 \pm 0.20$  m NGPF. Pour ce type d'infrastructure les investissements financiers et les besoins en matériaux sont lourds, et une analyse de risques liés aux événements extrêmes et aux effets du changement climatique peut permettre de limiter les pertes économiques. L'espérance de vie de ces

infrastructures est de l'ordre de 50 à 70 ans, ce qui est une échelle de temps pertinente pour examiner les effets de l'ENM et des submersions chroniques à pleine mer.

Dans le cadre du projet INSeaPTION ([www.inseaption.eu](http://www.inseaption.eu)), des ateliers ont été organisés en Mars 2018 afin de faire émerger des besoins en services climatiques côtiers fondés sur la connaissance scientifique sur l'ENM (Maspataud *et al.*, 2018). Ces ateliers ont mis en évidence des besoins pour évaluer le risque de submersion pour les infrastructures critiques, en particulier portuaires et aéroportuaires, en prenant en compte l'ENM. En février 2019, des réunions bilatérales avec les opérateurs d'études maritimes et les exploitants et gestionnaires aéroportuaires (c.f., remerciements) ont permis de préciser les enjeux et des apports possibles d'un service climatique pour anticiper l'augmentation des risques de submersions chroniques. L'étude examine les infrastructures critiques de deux îles hautes, Tahiti et Moorea (Archipel de la Société), et deux atolls, Bora Bora (Archipel de la Société) et Rangiroa (Tuamotu). Ce résumé présente des résultats préliminaires portant sur l'aéroport de Tahiti/Faa'a et sur le port de Papeete.

## II. MÉTHODE ET DONNEES

La méthode consiste à superposer les niveaux plus hautes mers astronomiques (PHMA) à un niveau de la mer moyen, qui évolue dans le temps en raison du réchauffement climatique. Nous considérons également les effets de mouvements verticaux du sol et de la variabilité saisonnière à multi-décennale du niveau d'eau moyen hors signal de marée (ex. Melet *et al.*, 2018). Ces projections sont ensuite comparées aux seuils critiques pour les infrastructures portuaires et aéroportuaires.

Les niveaux de marée et références altimétriques verticales considérées sont issues des Références Altimétriques Maritimes (Shom, 2017). Nous utilisons les projections probabilistes régionalisées de niveau de la mer moyen de Kopp *et al.* (2014), disponibles en particulier pour le marégraphe de Papeete. Ces projections sont conditionnées à trois scénarios RCP de changement climatique (pour *Representative Concentration Pathways*) et produites pour des échéances de temps comprises entre 2000 et 2200. Le RCP 4.5 correspond approximativement aux objectifs de réduction d'émission de gaz à effets de serre suite à l'Accord de Paris, tandis que les scénarios RCP 8.5 et 2.6 correspondent respectivement à un réchauffement climatique de 4 et 2°C par rapport à la période pré-industrielle approximativement. Les scénarios de Kopp *et al.* (2014) sont, pour l'essentiel, compatibles avec le rapport du GIEC de 2014 et ne prennent pas en compte la possibilité d'une initiation d'un effondrement de la calotte Antarctique évoquée dans des publications plus récentes.

Nous estimons les effets des mouvements verticaux du sol en Polynésie française à partir d'une analyse de la littérature scientifique (Fadil *et al.*, 2011 ; Martinez-Asensio *et al.*, 2019) et des tendances issues des GPS permanents de la base de données SONEL ([www.sonel.org](http://www.sonel.org) ; Wöppelmann *et al.*, 2007). Ainsi, pour les sites instrumentés, essentiellement à Tahiti, les mesures GPS de mouvements verticaux du sol indiquent une subsidence de l'ordre de -0.5 mm/an (Fadil *et al.*, 2011),  $-1.80 \pm 0.45$  mm/an (station de Faa'a) à  $-1.94 \pm 0.23$  mm/an (station de Papeete) en moyenne (SONEL). Compte tenu des incertitudes portant sur la linéarité des mouvements verticaux du sol et leur variabilité spatiale, nous estimons celles-ci à  $\pm 2$  mm (1 écart type), correspondant à l'écart-type du mouvement résiduel du sol issu de l'ensemble des stations GPS SONEL, hors ajustement isostatique global (Wöppelmann et Marcos, 2016). Enfin, la variabilité saisonnière à multi-décennale du niveau d'eau moyen hors signal de marée est estimée à  $\pm 10$  cm (valeurs minimales et maximales d'une distribution triangulaire).

Les différents seuils critiques ont été définis à partir des produits Lidar Polynésie française 2015 de Tahiti, Bora Bora et Moorea (Shom et SAU), de levés topographiques à Rangiroa (GéoPolynésie), et bénéficient de l'expérience technique des acteurs locaux (opérateurs d'études maritimes, exploitant et gestionnaire aéroportuaires...). Les simulations présentées ci-dessous sont réalisées avec le modèle COASTAUD (Le Cozannet *et al.*, 2019), développé par le BRGM. Cet outil propage les incertitudes de l'ENM, des mouvements verticaux du sol et de la variabilité du niveau marin (hors marée) par une approche de quasi Monte-Carlo (10,000 exécutions, les paramètres d'entrée suivant des suites de Sobol').

### III. RÉSULTATS PRELIMINAIRES

Les résultats préliminaires sont présentés dans la Figure 1. Ces résultats mettent en évidence que dans tous les scénarios de changement climatique, des submersions chroniques ont au moins une chance sur deux de se produire sur le port et l'aéroport de Tahiti, en l'absence d'adaptation. Néanmoins, l'émergence de ces phénomènes sera retardée dans le cas d'un scénario limitant fortement les émissions de gaz à effets de serre. Considérons par exemple le cas dans lequel les abords de la piste aéroportuaire sont inondés : le modèle prévoit que la probabilité de dépassement de ce seuil critique est de 50 % vers 2125 pour le scénario RCP 2.6, et peu avant 2100 dans le cas du RCP 8.5. Ceci souligne les bénéfices attendus d'une politique d'atténuation du changement climatique : de telles politiques permettent de gagner du temps pour la mise en œuvre de l'adaptation.

La Figure 1 met également en évidence que les submersions à PHMA ont des probabilités très faibles (inférieures à 5 %) d'intervenir avant 2050. Cette échéance est sensiblement inférieure à la durée de vie des infrastructures considérées. Néanmoins, elle est suffisante pour anticiper des rehaussements des dimensionnements lors des interventions planifiées (entretien, réfection, ou réalisation d'une nouvelle infrastructure).

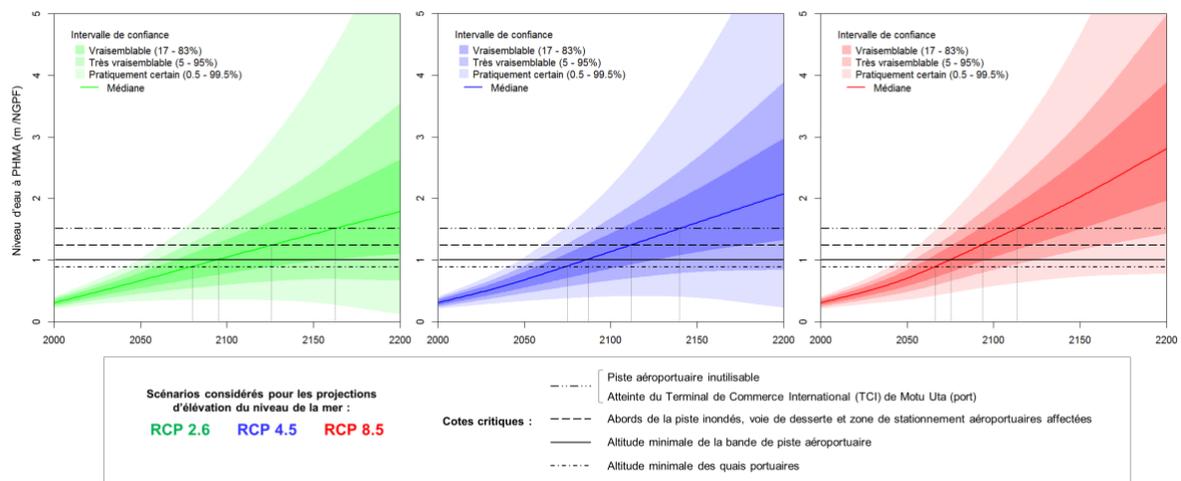


Figure 1. Exemple de projections de niveaux d'eau à PHMA pour des infrastructures critiques de l'île de Tahiti, basées sur les projections probabilistes régionalisées d'élévation du niveau de la mer selon l'étude de Kopp et al. (2014) et selon trois scénarios de changement climatique (RCP 2.6, 4.5 et 8.5).

### IV. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le service climatique développé dans le cadre de cette étude s'inscrit dans une démarche participative. Il comprend non seulement la communication de données relatives à l'ENM régionalisées en Polynésie française (valeurs et échéances), mais également la définition de seuils critiques d'ENM à différents horizons temporels, avec les utilisateurs, et en se basant sur les données de référence disponibles, pour des études de cas spécifiques (aéroports, quais portuaires, terminaux internationaux et commerciaux...). Ce service climatique permet d'identifier des échéances critiques pour réaliser des interventions visant à maintenir les niveaux de protection face aux submersions chroniques. Ce type d'information peut ultérieurement être utilisé pour aider à la détermination des spécifications à appliquer dans les études de conception d'infrastructures (différentes options de praticabilité de quais/zones sensibles à faible altitude, choix des solutions techniques en génie civil, renouvellement de concession d'exploitation aéroportuaire, d'une durée actuelle de 30 ans). Ce service climatique peut également être utilisé pour réaliser des « chemins d'adaptation », plaçant dans le temps les différentes mesures d'adaptation possibles pour l'infrastructure considérée (Haasnoot *et al.*, 2013), ou des diagrammes de « chaînes d'impacts », visant à identifier les vulnérabilités et la résilience d'un territoire et son évolution au cours du temps (Duvat *et al.*, 2018).

L'exercice de co-construction mené dans le cadre de cette étude a mis en évidence des besoins qui n'étaient pas formalisés auparavant. Les opérateurs d'infrastructures critiques ont permis à l'équipe scientifique d'identifier des informations adaptées à des besoins spécifiques, mobilisables dans un cadre opérationnel.

## V. REMERCIEMENTS

Cette étude est menée dans le cadre du projet INSeaPTION, qui fait partie d'ERA4CS, un ERA-NET initié par JPI Climate, et financé par FORMAS (SE), BMBF (DE), BMWFW (AT), IFD (DK), MINECO (ES), ANR (FR) avec cofinancement par l'Union européenne (Grant 690462). Nous remercions la Direction de l'équipement/Arr. maritime (Cédric Chevouline), le Port Autonome de Papeete (Bran Quinquis), la DAC (Mataiva Sage), le SEAC (Sébastien Mignon) et Aéroport de Tahiti (Eric Dumas) pour leur participation à la co-construction de ce service climatique d'INSeaPTION.

## VI. REFERENCES

- Duvat V. K., Magnan A. K., Canavesio R. (2018) – Reconstructing "chains of impacts" to assess a territory's resilience and support coastal risk reduction. *Houille Blanche-Revue internationale de l'eau*, (2), 13-21.
- Fadil A., Sichoix L., Barriot J-P., Ortéga P., Willis P. (2011) – Evidence for a slow subsidence of the Tahiti Island from GPS, DORIS, and combined satellite altimetry and tide gauge sea level records. *Comptes Rendus Geosciences* 343, 331-341.
- Haasnoot M., Kwakkel J. H., Walker W. E., ter Maat J. (2013) – Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *Global environmental change*, 23(2), 485-498.
- Hino M., Tiver Belanger S., Field C.B., Davies A.R., Mach K.J. (2019) – High-tide flooding disrupt local economic activity. *Science Advances* 5(2): eaau2736, 9 p.
- Kopp R. E. *et al.* (2014) - Probabilistic 21st and 22nd century sea-level projections at a global network of tide-gauge sites. *Earth's Future* 2(8), 383–406.
- Le Cozannet G., Bulteau T., Castelle B., Ranasinghe R., Wöppelmann G., Rohmer J., Bernon N., Idier D., Louisor J., Salas-y-Mélia D. (2019) – Quantifying uncertainties of sandy shoreline change projections as sea level rises. *Scientific Reports* (2019) 9(1):42, DOI:10.1038/s41598-018-37017-4.
- Martinez-Asensio A., Wöppelmann G., Ballu V., Becker M., Testut L., Magnan A.K., Duvat V.K.E. (2019) – Relative sea-level rise and the influence of vertical land motion at Tropical Pacific Islands. *Global and Planetary Change* 176, 132-143.
- Maspataud A., Le Cozannet G., Duvat V., Terorotua H., Ouriqua J., Walker P. (2018) – INSeaPTION, Workshop utilisateurs en Polynésie française, 22-23 mars 2018, Papeete (Tahiti). Rapport final, 40 p. (<http://inseaption.eu/>)
- Melet A., Meyssignac B., Almar R., Le Cozannet G. (2018) – Under-estimated wave contribution to coastal sea-level rise. *Nature Climate Change*, 8(3), 234
- Moftakhari H.R., AghaKouchak A., Sanders B.F., Feldman D.L., Sweet W., Matthew R.A., Luke A. (2015) - Increased nuisance flooding along the coasts of the united states due to sea level rise: Past and future. *Geophys. Res. Lett.* 42, 9846–9852.
- Shom (2017) - Références Altimétriques Maritimes, 118 p.
- Sweet W.V., Park J. (2014) - From the extreme to the mean: Acceleration and tipping points of coastal inundation from sea level rise. *Earth's Future* 2, 579-600, doi:10.1002/2014EF000272.
- Wöppelmann G., Marcos M. (2016) - Vertical land motion as a key to understanding sea level change and variability. *Reviews of Geophysics, American Geophysical Union*, 54, <10.1002/2015RG000502> <hal-01283016>
- Wöppelmann G., Miguez B. M., Bouin M. N., Altamimi Z. (2007) - Geocentric sea-level trend estimates from GPS analyses at relevant tide gauges world-wide. *Global and Planetary Change*, vol. 57, no 3-4, doi:10.1016/j.gloplacha.2007.02.002, p. 396–406, ISSN 0921-8181.