

LITTORAL ET CHANGEMENT CLIMATIQUE : ADAPTATION DES CÔTES, DES PORTS ET DES ESTUAIRES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE
Marne la Vallée, 21-22 novembre 2019



Impacts des submersions marines chroniques liées à l'élévation du niveau de la mer sur des infrastructures critiques de Polynésie française : Co-construction de service climatique côtier

Aurélie MASPATAUD¹, Jehane OURQUA², Virginie DUVAT³, Gonéri LE COZANNET¹,
Heïtea TEROROTUA^{2,3}, Patrice WALKER²



1



2

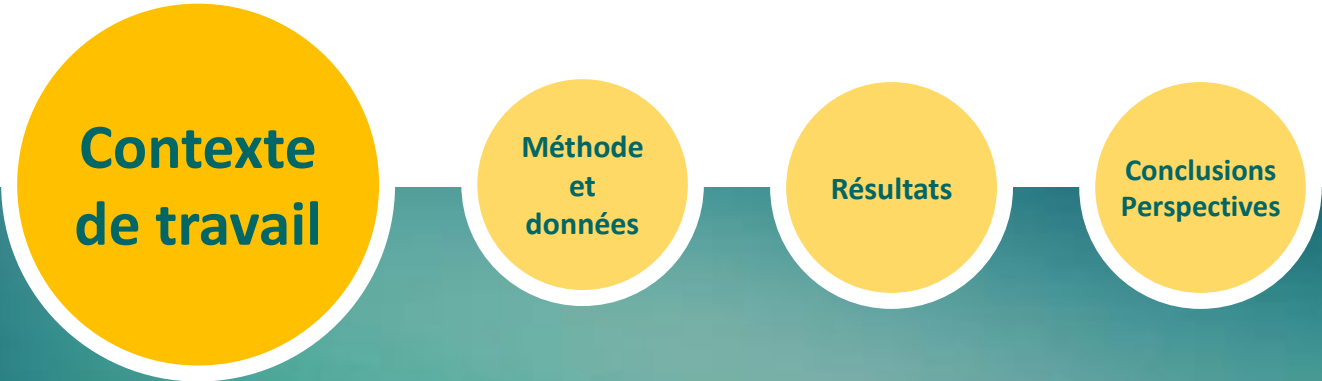


Global Climate Forum



3





**Contexte
de travail**

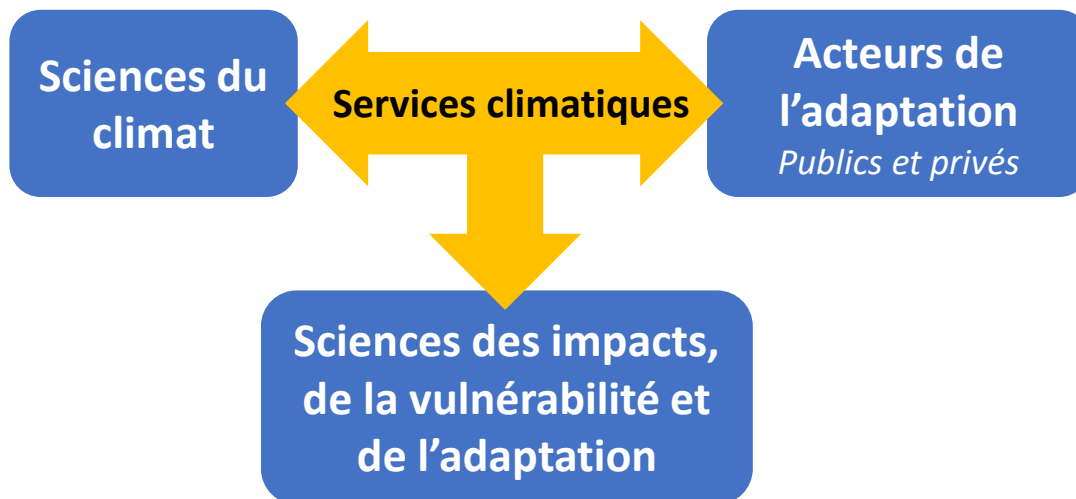
**Méthode
et
données**

Résultats

**Conclusions
Perspectives**

« Les services climatiques fournissent des informations pour aider les parties prenantes à prendre des décisions en matière d'adaptation »
(Organisation météorologique mondiale)

- Visent à **soutenir les politiques d'adaptation ou d'atténuation du changement climatique**
- Impliquent des **acteurs publics et privés**, y-compris des **chercheurs**
- Couvrent **toutes les échelles de temps** (passées, présentes et futures) **et spatiales** (saisonnnières à milléniales)
- Reposent sur des **capacités d'observation et de modélisation**, des **outils / systèmes d'information**, sur des **formations initiales et professionnelles**



European Research Area
for Climate Services

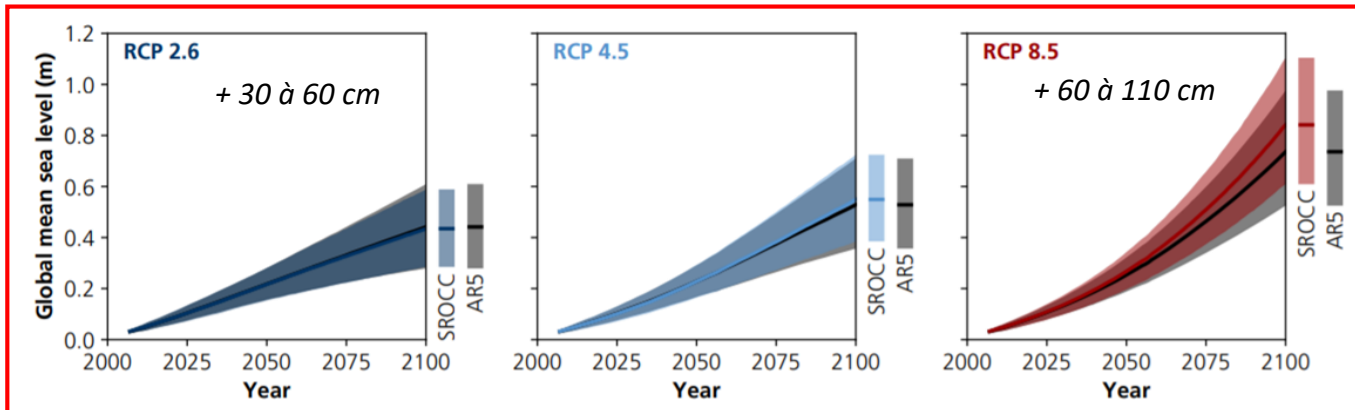
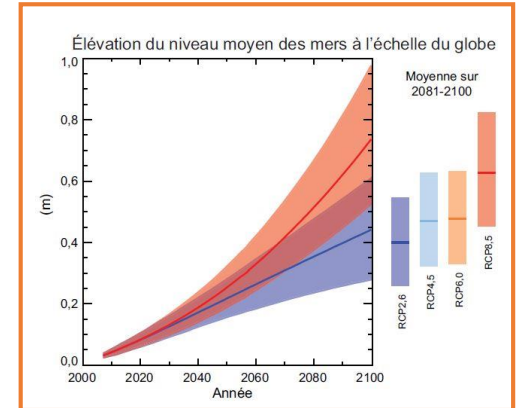
- Initiative européenne pour le développement de services climatiques en Europe
- Soutient la recherche pour transférer des informations climatiques fiables vers les acteurs de l'adaptation au changement climatique : développement d'outils / méthodes / standards / services

- **5^{ème} rapport du GIEC (AR5), Church et al. (2013) :**

- ENM à l'échelle du globe de + 1,8 mm/an au XX^{ème} siècle, mais de + 3,2 mm/an entre 1993 et 2010
- Une poursuite de son accélération pour le XXI^{ème} siècle, avec une hausse globale de 0,60 m à 1 m d'ici à 2100 (RCP 8,5)

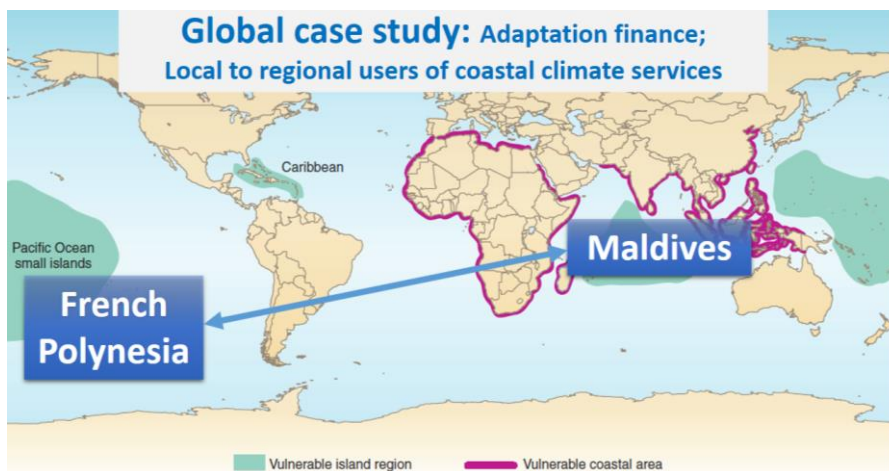
- **Dernier Rapport spécial du GIEC (SROCC / IPCC Special report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate) en 2019 :**

- ~+15 cm à l'échelle mondiale au cours du XX^{ème} siècle; 3,6 mm/an actuellement; continue de s'accélérer
- L'ENM devrait se poursuivre au-delà de 2100 dans tous les scénarios de RCP
- Pour un scénario d'émissions élevées (RCP8.5), les prévisions d'ENM d'ici 2100 sont supérieures (+ 10 cm) à celles de l'AR5 (contribution plus importante de la calotte glaciaire Antarctique)



→ Ces moyennes globales masquent des variations entre les différents bassins océaniques qui se répercutent sur les situations insulaires...

→ **Co-concevoir et co-développer**, avec les utilisateurs et les parties prenantes, des **services climatiques côtiers** fondés sur la connaissance scientifique sur l'ENM, les impacts et l'adaptation



3 cas d'étude

Global

Maldives

Polynésie
Française

Démarche de mise en place de services climatiques côtiers

#1 Interactions utilisateurs

#2 Analyse du contexte
décisionnel

#3 Niveau de la mer

#4 Impacts

#5 Vulnérabilités sociales
et économiques

#6 Adaptation

- *Quels type de décisions sont favorables, ou non, à l'adaptation au changement climatique ?*
- *Quelle information scientifique pour appuyer ces décisions ?*

Nicholls et Cazenave, 2010; Hinkel et al., 2019

→ Premiers **workshop et ateliers** organisés en Polynésie Française en mars 2018 auprès des acteurs Etat et Territoire (Maspataud et al., 2018)

Emergence de besoins en SCC fondés sur la connaissance scientifique sur l'ENM



4

Services
Climatiques
Côtiers



SCC 1

Infrastructures critiques et ENM (aéroports, ports...)

SCC 2

Déstabilisation des plages des îles hautes (Tahiti, Tubuai) et basses (Tuamotu), stratégies d'adaptation au CC

SCC 3

Formation professionnelle et émergence de nouveaux métiers

SCC 4

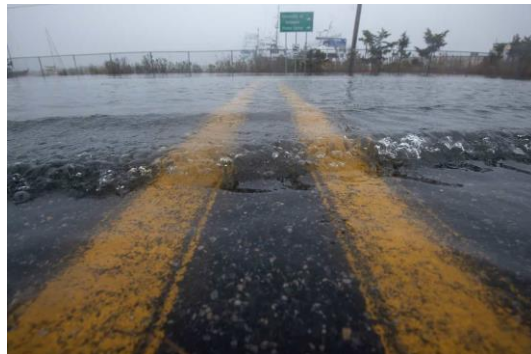
Approches participatives pour l'observation des impacts du CC

→ Des **réunions bilatérales** en février 2019 avec les **opérateurs d'études maritimes, les exploitants et gestionnaires aéroportuaires**

Définition des enjeux et apports possibles du SCC 1 pour anticiper l'augmentation des risques de submersions chroniques



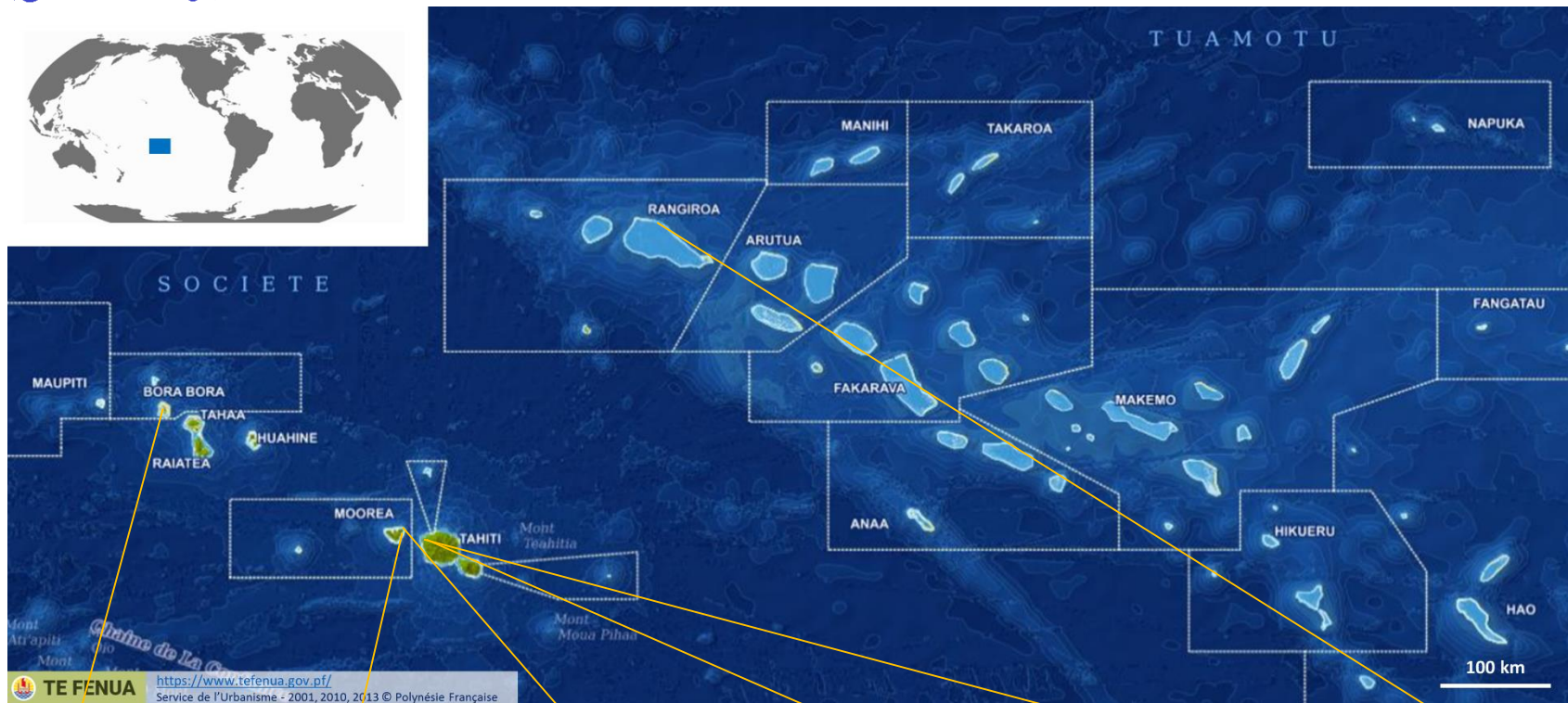
San Francisco Bay Keeper - Robb Most



Jason Minto/Delaware News Journal

- L'une des conséquences de l'ENM : la possibilité de **submersions marines chroniques** ("chronic flooding" ou "nuisance flooding"), à marée haute, dans des conditions météorologiques calmes (Sweet and Park, 2014, Moftakhari et al., 2015, Karegar et al., 2017)
- Des **perturbations potentielles sur les activités économiques**, notamment celles dépendant d'**infrastructures portuaires, aéroportuaires, industrielles ou commerciales**, situées en zones basses (Hino et al., 2019)

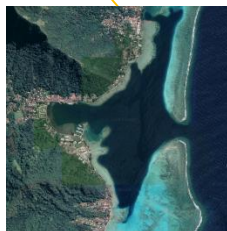
Problématique émergente en contexte insulaire Pacifique, notamment en Polynésie Française, où de nombreuses infrastructures majeures portuaires et aéroportuaires sont implantées à de très faibles altitudes au-dessus du niveau de la mer



Aéroport de Bora-Bora
(> 260 250 passagers en 2017)



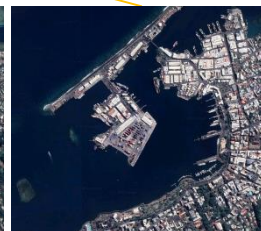
Aéroport de Moorea
(> 83 000 passagers en 2017)



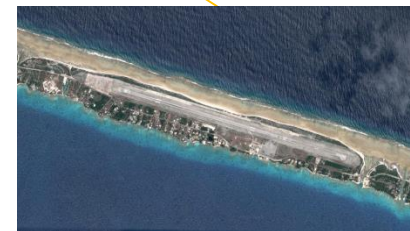
Zone portuaire de Moorea (quais, routes)



Aéroport international de Tahiti-Faa'a
(> 1 291 300 passagers en 2017)



Port de Papeete
(~900 000 tonnes d'importation, >100 000 passagers croisières interinsulaire / transpacifique)



Aéroport de Rangiroa
(> 84 300 passagers en 2017 ; potentiel futur aéroport de dégagement)

Exemple sur l'île de Tahiti

Terminal de Commerce International (Papeete)



<http://www.portdepapeete.pf>

TCI de Motu Uta (port de Papeete) :
1 à 1.50 ± 0.20 m (/NGPF)

Piste aéroportuaire :
1.5 ± 0.30 m (/NGPF)

Voies de desserte, zones de
stationnement aéroportuaires :
1.2 ± 0.20 m (/NGPF)

Aéroport international de
Tahiti-Faa'a



www.tahitiheritage.pf



C. Blondy (2005)

Quais portuaires :
min. à 0.90 m (/NGPF)



© Creocan



© A. Maspataud



Contexte
de travail

**Méthode
et
données**

Résultats

Conclusions
Perspectives

Niveaux de marée et références altimétriques verticales
 ("Réf. Altimétriques Maritimes" ; Shom, 2017)
 + variabilité saisonnière à multi-décennale du niveau d'eau moyen, hors signal de marée
 (ex. Melet et al., 2018)

+

Projections probabilistes régionalisées du niveau moyen de la mer de Kopp et al. (2014)
 disponibles pour le marégraphe de Papeete

3 scénarios de changement climatique :
 RCP 2.6, 4.5, 8.5

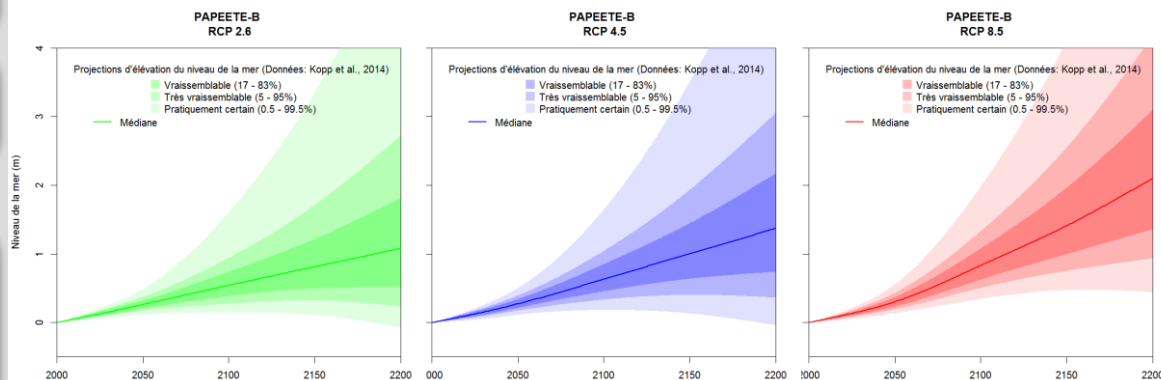
+

Mouvements verticaux du sol en PF :
 - Littérature scientifique (Fadil et al., 2011 ; Martinez-Asensio et al., 2019)
 - Tendances des GPS permanents de la BDD SONEL (www.sonel.org ; Wöppelmann et al., 2007 et considérant Wöppelmann et Marcos, 2016)

Modèle COASTAUD
 (Le Cozannet et al., 2019),
 développé au BRGM

→ 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, suites de Sobol)

Projections locales de l'ENM pour la Polynésie Française



Niveaux de marée et références altimétriques verticales
 ("Réf. Altimétriques Maritimes" ; Shom, 2017)
 + variabilité saisonnière à multi-décennale du niveau d'eau moyen, hors signal de marée
 (ex. Melet et al., 2018)

+

Projections probabilistes régionalisées du niveau moyen de la mer de Kopp et al. (2014)
 disponibles pour le marégraphe de Papeete

3 scénarios de changement climatique : RCP 2.6, 4.5, 8.5

+

Mouvements verticaux du sol en PF :
 - Littérature scientifique (Fadil et al., 2011 ; Martinez-Asensio et al., 2019)
 - Tendances des GPS permanents de la BDD SONEL (www.sonel.org ; Wöppelmann et al., 2007 et considérant Wöppelmann et Marcos, 2016)

Modèle COASTAUD
 (Le Cozannet et al., 2019),
 développé au BRGM

→ 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, suites de Sobol)

Projections locales de l'ENM pour la Polynésie Française

Seuils critiques pour les infrastructures portuaires et aéroportuaires

Données de référence :

- Lidar haute resolution (Tahiti, Moorea, Bora Bora)
- Levés topographiques (Rangiroa)



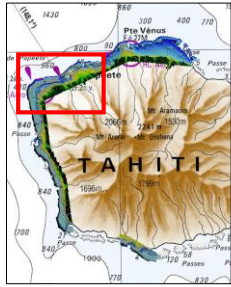
4
Services Climatiques Côtiers



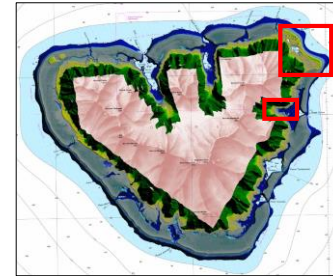
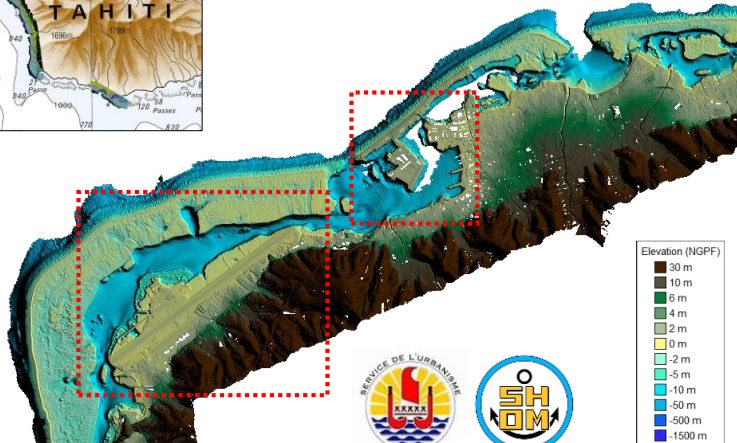
Besoins en information scientifique recensés durant les workshop / ateliers 2018 et 2019

Expérience technique des acteurs locaux (opérateurs maritimes, exploitant et gestionnaires aéroportuaires)

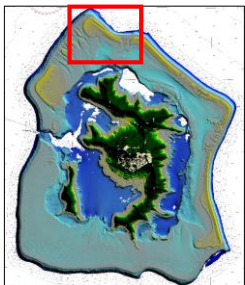
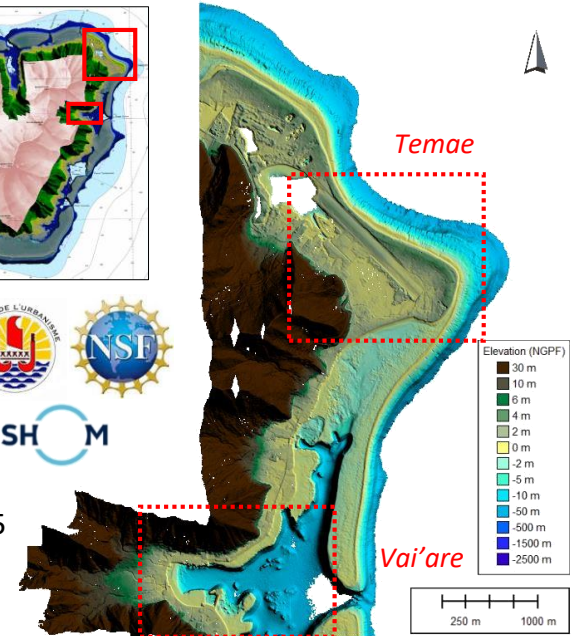
Co-design de SCC et approche participative



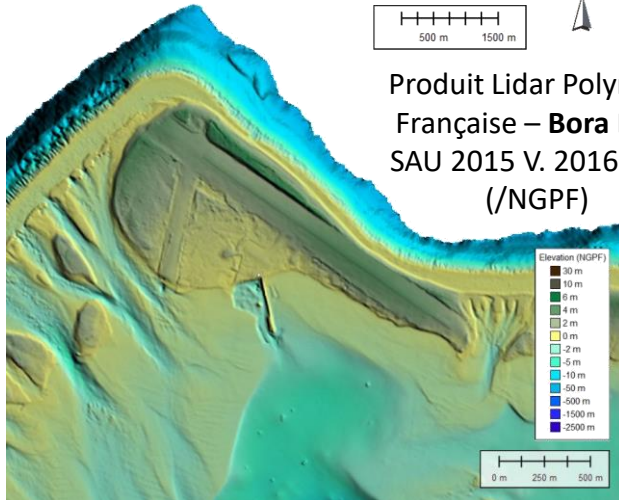
Produit Lidar Polynésie Française -
Tahiti 2015 V. 20160630 (/NGPF)



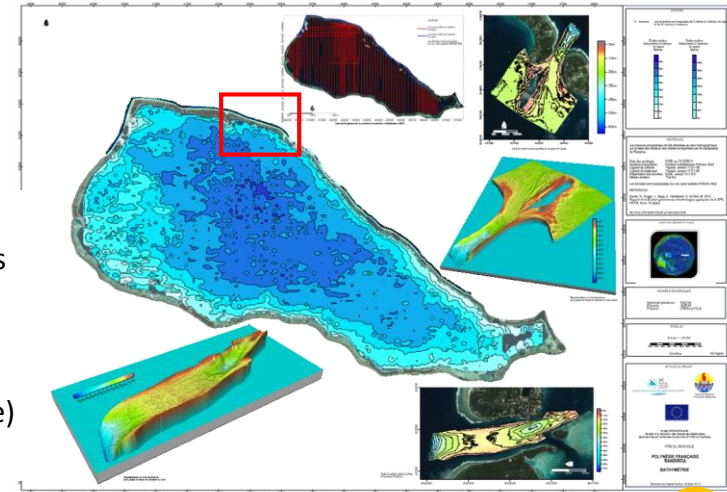
Produit Lidar Polynésie Française - **Moorea** 2015
V. 20171015 (/NGPF)



Produit Lidar Polynésie Française – **Bora Bora**
SAU 2015 V. 20160630 (/NGPF)



Rangiroa :
Bathymétries (SOPAC)
Topographie Avatoru (geoPolynesie) (/LAT)



Niveaux de marée et références altimétriques verticales
 ("Réf. Altimétriques Maritimes" ; Shom, 2017)
 + variabilité saisonnière à multi-décennale du niveau d'eau moyen, hors signal de marée
 (ex. Melet et al., 2018)

+

Projections probabilistes régionalisées du niveau moyen de la mer de Kopp et al. (2014)
 disponibles pour le marégraphe de Papeete

3 scénarios de changement climatique : RCP 2.6, 4.5, 8.5

+

Mouvements verticaux du sol en PF :
 - Littérature scientifique (Fadil et al., 2011 ; Martinez-Asensio et al., 2019)
 - Tendances des GPS permanents de la BDD SONEL (www.sonel.org ; Wöppelmann et al., 2007 et considérant Wöppelmann et Marcos, 2016)

Modèle COASTAUD
 (Le Cozannet et al., 2019),
 développé au BRGM

→ 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, suites de Sobol)

Projections locales de l'ENM pour la Polynésie Française

Seuils critiques pour les infrastructures portuaires et aéroportuaires

Données de référence :

- Lidar haute résolution (Tahiti, Moorea, Bora Bora)
- Levés topographiques (Rangiroa)

Projections de niveaux d'eau à PHMA pour des seuils critiques d'infrastructures critiques



4
Services Climatiques Côtiers



Besoins en information scientifique recensés durant les workshop / ateliers 2018 et 2019

Expérience technique des acteurs locaux (opérateurs maritimes, exploitant et gestionnaires aéroportuaires)

Co-design de SCC et approche participative



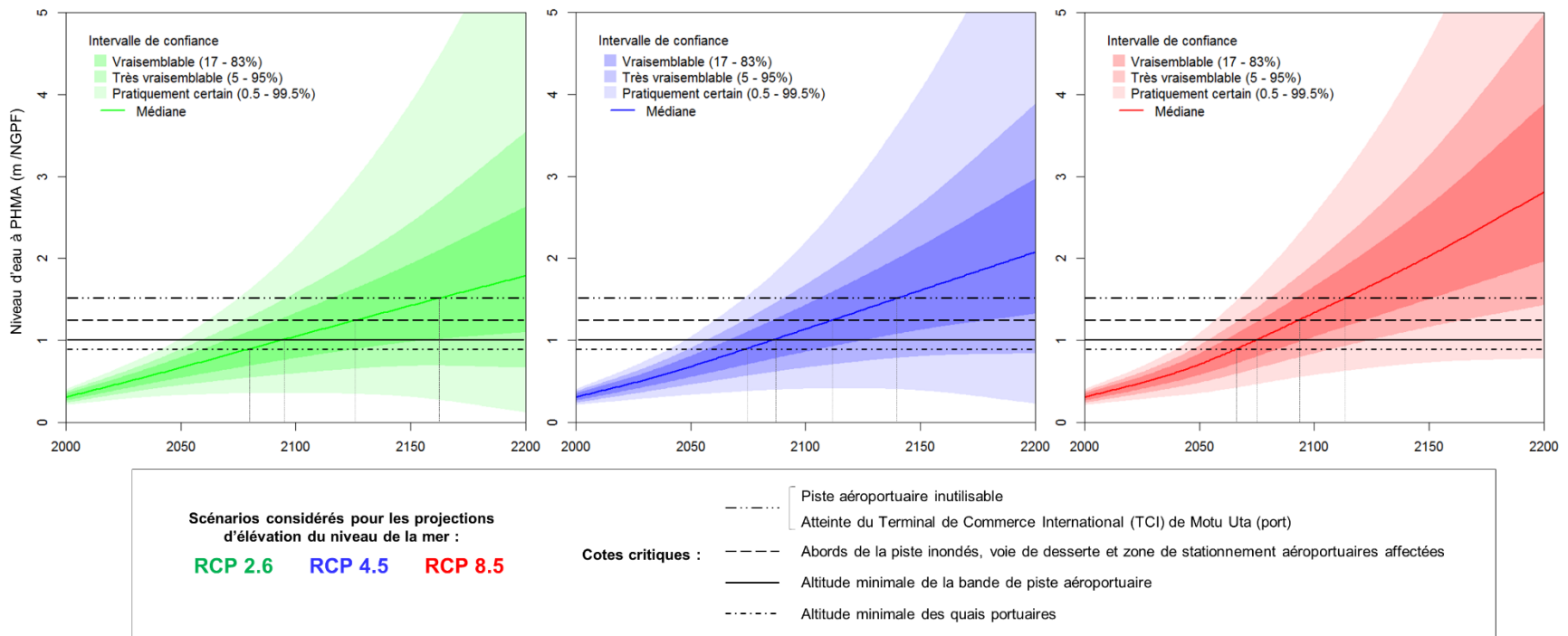
**Contexte
de travail**

**Méthode
et
données**

Résultats

**Conclusions
Perspectives**

→ **Projections de niveaux d'eau à PHMA pour des infrastructures critiques de l'île de Tahiti**, basées sur les **projections probabilistes régionalisées d'ENM** selon l'étude de Kopp et al. (2014), et selon **3 scénarios de changement climatique** (RCP 2.6, 4.5 and 8.5)

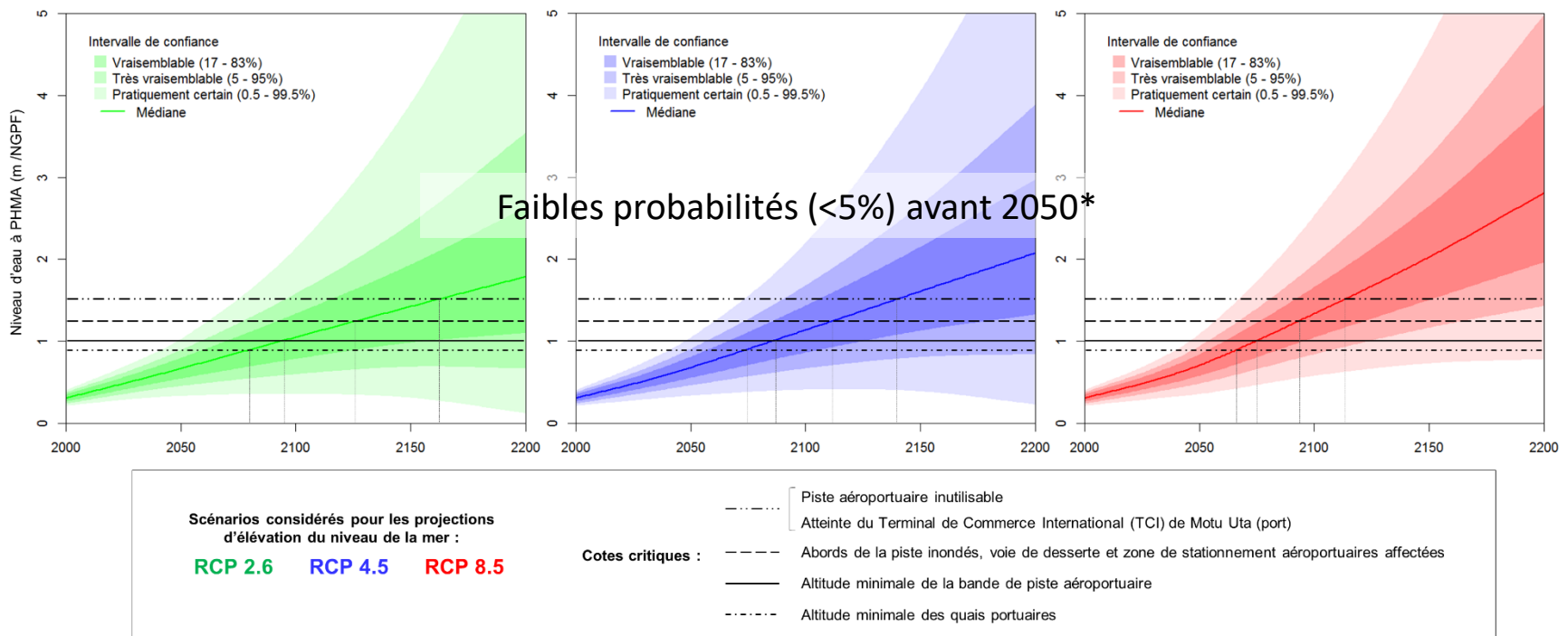


- Quel que soit le scénario RCP considéré : la submersion chronique affectera le port et l'aéroport de Tahiti en l'absence de mesure d'adaptation
- Émergence du phénomène retardée dans le cas d'un scénario limitant fortement les émissions de GES (RCP 2.6)

Exemple du seuil de 1.20 m (inondation des abords de piste aéroportuaire) :

→ Probabilité de dépassement ? 50% vers 2125 pour le RCP 2.6 / d'ici 2100 dans le cas du RCP 8.5

→ **Bénéfices ++ d'une politique d'atténuation du changement climatique** : gagner du temps pour la mise en œuvre de l'adaptation



2050 : **Échéance sensiblement inférieure à la durée de vie des infrastructures** considérées
 MAIS suffisante pour **anticiper des rehaussements des dimensionnements lors des interventions planifiées** (entretien, réfection, nouvelle infrastructure)



**Contexte
de travail**

**Méthode
et
données**

Résultats

**Conclusions
Perspectives**

- ✓ Une démarche participative de co-construction avec les acteurs locaux
- ✓ SCC basé sur les données de référence disponibles
- ✓ Communication de données d'ENM régionalisées en Polynésie Française (valeurs et échéances)

- ✓ Définition de seuils critiques d'ENM avec les utilisateurs, pour des études de cas spécifiques (aéroports, quais portuaires, terminaux internationaux et commerciaux...)

- ✓ Identification d'échéances critiques pour des interventions de maintien des niveaux de protection face aux submersions chroniques

- ✓ Aide à la détermination des spécifications d'études de conception d'infrastructures :
 - Options de praticabilité de quais/zones sensibles de faible altitude,
 - Choix des solutions techniques en génie civil,
 - Renouvellement de concession d'exploitation aéroportuaire (act. 30 ans)
- ✓ Aide à la réalisation de :
 - « chemins d'adaptation » (Haasnoot et al., 2013)
 - « chaînes d'impacts » (Duvat et al., 2018)

- Emergence de besoins qui n'avaient pas été formalisés jusqu'à présent
- Participation des opérateurs / gestionnaires techniques d'infrastructures critiques à l'identification des informations adaptées à leurs besoins spécifiques et pouvant être mobilisées dans un cadre opérationnel



Merci !

Remerciements :

la Direction de l'Equipement/Arr. maritime (DEQ)

le Port Autonome de Papeete (PAP)

la Direction de l'Aviation Civile (DAC)

le Service d'Etat de l'Aviation Civile (SEAC)

Aéroport de Tahiti (ADT)

Contact :

a.maspataud@brgm.fr



www.inseaption.eu



@INSeaPTION

<https://twitter.com/inseaption>